



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

ESTUDIO DE RADIOSENSIBILIDAD EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE LA ARVEJA PISUM SATIVUM L, CON SEMILLAS EXPUESTAS A RADIACIÓN GAMMA UTILIZANDO UN IRRADIADOR DE Co-60

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTOR: María Janneth Ilguan Caizaguano

TUTOR: Biof. Javier Carrasco Tustón

RIOBAMBA-ECUADOR

2016

© 2016, María Janneth Ilguan Caizaguano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo experimental: **ESTUDIO DE RADIOSENSIBILIDAD EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE LA ARVEJA PISUM SATIVUM L, CON SEMILLAS EXPUESTAS A RADIACIÓN GAMMA UTILIZANDO UN IRRADIADOR DE Co-60**, de responsabilidad de María Janneth Ilguan Caizaguano, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Biof. Javier Carrasco

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Biof. Teresa Altamirano

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DOCUMENTALISTA

SISBIB – ESPOCH

Yo, María Janneth Ilguan Caizaguano soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

María Janneth Ilguan Caizaguano

DEDICATORIA

El presente trabajo de Titulación va dedicado a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino. A mi papá quien fue un hombre de superación y entrega, sus consejos me ayudaron a enfrentar las dificultades de la vida, a mi madre que estuvo siempre junto a mí brindándome su amor con una palabra de aliento para llegar a culminar mi profesión.

A mis hermanas, por ser mi mayor motivación, gracias a ellos pude culminar una meta más en vida; su fortaleza admirada, su aliento y cariño constante me han permitido superar los momentos más difíciles de mi carrera y cumplir con éxito un objetivo más en mi vida.

A mis sobrinos quienes han sido mi inspiración para seguir adelante. A mi esposo, Franklin Parco, quien me brindo su amor, cariño, estímulo y apoyo constante durante mis estudios.

Ilgan María

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida y salud para poder seguir cumpliendo mis metas, por darme la sabiduría e iluminar mi mente, por haberme guiado durante toda mi carrera. De manera especial agradezco a mi esposo y a mi familia por su apoyo incondicional.

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, especialmente a la por abrir sus puertas para mi formación profesional. Mi más sincera gratitud a mis maestros ya que con su paciencia inculcaron conocimientos necesarios para mi vida profesional. Al Biof. Javier Carrasco Tutor de mi trabajo de Titulación, por haber dedicado parte de su tiempo, por sus buenas enseñanzas, por compartir su sabiduría y calidad humana para orientar la elaboración de este trabajo.

Ilgan María

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

CERTIFICACIÓN..... iii

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

ÍNDICE GENERAL vii

ÍNDICE DE CUADROS..... x

ÍNDICE DE GRÁFICOS xi

RESUMEN..... xiii

ABSTRACT..... xiv

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes 1

1.2 Planteamiento del problema..... 2

1.3 Justificación de la investigación..... 3

1.4 Objetivos..... 4

1.4.1 Objetivo general..... 4

1.4.2 Objetivos específicos 4

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Arveja..... 5

2.1.1 Origen..... 5

2.1.2 Importancia..... 5

2.1.3 Descripción Botánica..... 6

2.1.4 Composición Química. 6

2.1.5 Descripción Taxonómica..... 7

2.1.6 Variedades 7

| | | |
|---------|--|----|
| 2.1.6.1 | La arveja Andina | 8 |
| 2.1.6.2 | La Lojanita..... | 8 |
| 2.1.6.3 | La Roxana..... | 9 |
| 2.1.6.5 | Arveja Blanquita..... | 9 |
| 2.1.7 | Zonas Actuales del Cultivo. | 9 |
| 2.1.8.1 | Factores climáticos | 10 |
| 2.1.8.2 | Factores edafológicos..... | 10 |
| 2.1.9 | Germinación de arveja..... | 11 |
| 2.1.10 | Desarrollo de la planta | 11 |
| 2.1.11 | Valor nutritivo..... | 12 |
| 2.2 | Radiación Ionizante..... | 13 |
| 2.2.1 | Clasificación de Radiación Ionizante | 14 |
| 2.2.2 | Magnitudes y Unidades | 15 |
| 2.2.3 | Actividad..... | 15 |
| 2.2.4 | Dosis Absorbida (D) | 16 |
| 2.2.5 | Dosis Equivalente (H)..... | 16 |
| 2.2.6 | Dosis Efectiva | 17 |
| 2.3 | Irradiadores de Cobalto..... | 18 |
| 2.3.1 | Cobalto-60 | 18 |
| 2.3.2 | Irradiador Gamma con Cámara de Irradiación | 18 |
| 2.3.3 | Irradiador Gamma en Inmersión | 18 |
| 2.3.4 | Aplicaciones de un Irradiador De ⁶⁰ co..... | 19 |
| 2.4 | Irradiación de semillas y plantas | 20 |
| 2.4.1 | Irradiación de Papa..... | 20 |
| 2.4.2 | Irradiación de Quinua | 21 |
| 2.4.3 | Irradiación de Semillas y Plantas de Arveja | 22 |

CAPITULO III

| | | |
|-------|--|----|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 25 |
| 3.1 | Características de Equipos y Materiales..... | 25 |
| 3.1.1 | Equipo irradiador: JLSHEPARD MODEL 109 COBALTO-60..... | 25 |
| 3.1.2 | Cálculo del tiempo de irradiación | 26 |
| 3.2 | Procedimiento y manejo de las semillas..... | 27 |
| 3.2.1 | Preparación de las muestras | 28 |
| 3.2.3 | Sembrado | 29 |
| 3.2.4 | D Germinación..... | 30 |
| 3.2.5 | Crecimiento | 32 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----|---|----|
| 4. | MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 34 |
| 4.1 | Análisis e interpretación de resultados | 34 |
| 4.2 | iscusión de los resultados | 43 |
| | CONCLUSIONES | 45 |
| | RECOMENDACIONES | 46 |

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1-2. Composición química | 6 |
| Cuadro 2-2. Clasificación taxonómica..... | 7 |
| Cuadro 3-2. Variedades mejoradas | 8 |
| Cuadro 4-2. Magnitudes básicas | 15 |
| Cuadro 5-2. Factor de calidad (Q) | 17 |
| Cuadro 6-3. Características generales del irradiador de muestras | 25 |
| Cuadro 7-4. Dosis – tratamiento | 34 |
| Cuadro 8-4. Prueba de homogeneidad de varianzas | 35 |
| Cuadro 9-4. Anova de un factor..... | 35 |
| Cuadro 10-4. Análisis scheffé ^a de la variable dg..... | 36 |
| Cuadro 11-4. Numero de germinaciones efectivas | 37 |
| Cuadro 12-4. Prueba de homogeneidad de varianzas | 38 |
| Cuadro 13-4. Anova de un factor..... | 38 |
| Cuadro 14-4. Análisis scheffé de la variable gtp | 38 |
| Cuadro 15-4. Prueba de homogeneidad de varianzas | 39 |
| Cuadro 16-4. Anova de un factor..... | 40 |
| Cuadro 17-4. Análisis scheffé ^a de la variable nr..... | 40 |
| Cuadro 18-4. Prueba de homogeneidad de varianzas | 41 |
| Cuadro 19-4. Anova de un factor..... | 42 |
| Cuadro 20-4. Análisis scheffé ^a de la variable TP | 42 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------|--|----|
| Gráfico 1-3. | Equipo irradiador..... | 25 |
| Gráfico 2-3. | Preparación de muestras..... | 28 |
| Gráfico 3-3. | Muestras empacadas para el transporte a la scan | 29 |
| Gráfico 4-3. | Preparación del terreno..... | 29 |
| Gráfico 5-3. | Parcelas de estudio | 30 |
| Gráfico 6-3. | Localización del cantón guamate, provincia de chimborazo | 30 |
| Gráfico 7-3. | Germinación de arveja..... | 31 |
| Gráfico 8-3. | Formación de diminutas hojas..... | 31 |
| Gráfico 9-3. | Crecimiento de la planta de arveja | 32 |
| Gráfico 10-3. | Medición del tamaño de la planta..... | 32 |
| Gráfico 11-3. | Desarrollo de la planta de arveja | 33 |
| Gráfico 12-3. | Resumen del proceso del trabajo experimental | 33 |
| Gráfico 13-4. | Tratamientos vs días para la germinación | 36 |
| Gráfico 14-4. | Dosis vs germinaciones efectivas..... | 37 |
| Gráfico 15-4. | Grosor del tallo principal para cada muestra..... | 39 |
| Gráfico 16-4. | Numero de ramificaciones para cada muestra..... | 43 |
| Gráfico 17-4. | Tamaño de la planta para cada muestra..... | 43 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|---------|
| Comparaciones múltiples de la variable DG | Anexo A |
| Comparaciones múltiples de la variable GTP | Anexo B |
| Comparaciones múltiples de la variable NR | Anexo C |
| Comparaciones múltiples de la variable TP | Anexo D |
| Muestras antes de la siembra | Anexo E |
| Señalización de las parcelas | Anexo F |
| Crecimiento de la planta de arveja | Anexo G |

RESUMEN

El conocimiento de la fisiología de los cultivos, sus necesidades y su interacción física con el medio ambiente es importante, ya que esto permite proveer la cantidad justa de nutrientes, desde hace algún tiempo atrás se viene investigando como mejorar las semillas de arveja sin utilizar sustancias químicas, ya que estas podrían ser causa de enfermedades, la investigación de mejores métodos de producción podrá garantizar la soberanía alimentaria con alimentos sanos y sin efectos secundarios. El empleo de nuevos métodos como la irradiación de las semillas para determinar la radiosensibilidad de las mismas permite ampliar futuras investigaciones científicas en este campo, el objetivo de este trabajo es analizar los efectos fisiológicos en la germinación y crecimiento de la arveja *Pisum Sativum L*, con semillas expuestas a radiación gamma utilizando un irradiador de ^{60}Co . El experimento consta en irradiar 10 muestras a diferentes dosis cada una, luego se procede a realizar la siembra de las semillas irradiadas, para tomar los datos se hace observaciones continuas. Después de la recolección de datos mediante la observación, de los efectos de la irradiación durante la germinación y crecimiento de la semilla se puede dar cuenta que a dosis entre 20 -100 Gy germinan y crecen más del 50% de las semillas y entre 120 – 200 Gy germinan y crecen menos del 50% de las semillas. En conclusión la dosis entre 20 - 60 Gy son las más efectivas, ya que a estas dosis la semilla muestra mejoramiento en las características físicas de la planta de arveja, en comparación al testigo.

PALABRAS CLAVES: <ARVEJA (PISUM SATIVUM)>, <IRRADIACIÓN GAMMA>, <IRRADIACIÓN DE SEMILLAS>

ABSTRACT

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

La tecnología nuclear se utiliza en todos los aspectos de la vida cotidiana: en el ámbito de la salud, en actividades que van desde el diagnóstico hasta el tratamiento o la paliación; para mejorar los cultivos e impulsar la agricultura, vigilar y proteger el medio ambiente, determinar y proteger los recursos hídricos; así como en la planificación energética, la energía nucleoelectrónica, la investigación y la recopilación y el análisis de datos.

Una de estas técnicas es la irradiación controlada de semillas, pero no ha sido ampliamente desarrollada en la región. En 1970, el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas realizó la Irradiación de papas (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas en Venezuela, en esta investigación se concluye que el método es aplicable a variedades de papas cultivadas en el país y señalan dosis de 9 a 10 krad como las óptimas para lograr el efecto deseado.

En 1999, El Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares de Viacha (CIAN) trabaja en la mutación química y física de alimentos para hacerlos más resistentes a la sequía, lo que se hizo fue irradiar a las semillas con tres dosis de ^{60}Co componente del proceso en el Hospital General con valores de 100, 200 y 300 Gy, en la primera generación se mostró el daño físico en las plantas, pero en la segunda generación se observa un mejor crecimiento.

El proyecto regional RLA/5/056 se ha dedicado al mejoramiento de cultivos alimenticios por medio de mutaciones inducidas a semillas, realizadas en el laboratorio de biotecnología del CIAN, dependiente del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), uno de los principales proyectos es la irradiación de semillas de quinua con rayos gamma de una fuente de ^{60}Co obteniendo como resultado plantas de quinua resistentes a la sequía.

En 2009, en la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito se realizó la investigación: Aplicación de las radiaciones ionizantes gamma con fuente de ^{60}Co , para evitar la

contaminación del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad “Superchola”, debido a la infestación de semilla con la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), con la aplicación de las radiaciones se logró controlar la población de la plaga en porcentajes significativos, esto fue realizado por: Marcelo Gallegos y Luis Acosta.

En 2012, se realiza la investigación: “Determinación de las dosis efectivas de radiaciones ionizantes para afectar la fecundidad de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia Solanivora*)”, la esterilidad en *Tecia solanivora* fue distinta entre sexos: las hembras fueron completamente estériles a dosis de 400 Gy, y los machos fueron esterilizados a partir de 400 Gy lo que demostró que las hembras fueron más susceptibles a la radiación con respecto a la esterilidad, fue realizado por: Luis Miguel Acosta Bonilla.

En 2013, se realiza una investigación, “Estudio de la acción de las radiaciones ionizantes Gamma, en el control de la proliferación de la plaga de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia Solanivora*), en las semillas de papa de la variedad Superchola” con la aplicación de las radiaciones con rayos gamma con fuente de ^{60}Co se logró el objetivo de controlar la población de la plaga, esto fue realizado por: Javier Eduardo Tapia Jácome.

Luego de haber realizado una exhaustiva investigación en la biblioteca de la ESPOCH, EPN y en las publicaciones de artículos, revistas, libros y papers se han encontrado algunos trabajos investigativos. Muchas de los trabajos se han enfocado a investigar más en semillas de papas y algo en quinua pero en arveja realmente no existe, motivo por el cual es necesario realizar el presente trabajo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El conocimiento de la fisiología de los cultivos, sus necesidades y su interacción física con el medio ambiente es importante, ya que esto permite proveer la cantidad justa de nutrientes, desde hace algún tiempo atrás se viene investigando como mejorar las semillas de arveja sin utilizar sustancias químicas, ya que estas podrían ser causa de enfermedades, la investigación de mejores métodos de producción podrá garantizar la soberanía alimentaria con alimentos sanos y sin efectos secundarios.

En Ecuador la demanda alimento crece por el aumento de la población. La disponibilidad tiende a disminuir a causa de pérdida de cultivos por plagas o por el uso excesivo de los productos

químicos. Este desequilibrio se tendrá que resolver o atenuar mediante el aprovechamiento racional y eficiente de las nuevas alternativas de tratamiento de las semillas.

Los estudios en el tratamiento de semillas y alimentos con radiaciones ionizantes en el país son escasos, a pesar de que podrían influir directamente en la soberanía alimentaria, al mejorar la producción. Este tipo de tratamiento con radiaciones ionizantes es una alternativa sana, pues la semilla o el alimento no se contaminan, solo se elimina microorganismos, y en el caso de mejoramiento se podría obtener nuevas y mejores especies más productivas o más resistentes a enfermedades y plagas.

La falta de conocimiento del uso de las radiaciones ionizantes para el mejoramiento y conservación de plantas y semillas, específicamente de la arveja *Pisum Sativum L*, cuya especie es de gran demanda en el mercado alimenticio nacional.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El tratamiento saludable de las semillas es una prioridad para el estado ecuatoriano, es así que el Art. 281 de la Constitución ecuatoriana señala que la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente.

Uno de los medios por el cual se puede garantizar el cumplimiento de este objetivo es mediante la investigación científica, es así que el Art. 9 de la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria enuncia que el Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad.

Este estudio dará apoyo desde el punto de vista investigativo para determinar la radiosensibilidad de la arveja *pisum sativum L*. Los objetivos de la carrera de Biofísica descritos en la información curricular indican que sus graduados deberán resolver problemas en el campo de la física aplicada en sistemas y procesos biológicos, en instituciones y organismos nacionales e internacionales.

El empleo de nuevos métodos como la irradiación de las semillas para determinar la radiosensibilidad de las mismas permite ampliar futuras investigaciones científicas en este campo. Varios métodos han sido desarrollados alrededor del mundo para el tratamiento de las semillas, uno de los más usados es la utilización de productos químicos, pero estos han causado graves daños en el ambiente y principalmente en la salud del ser humano.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar los efectos fisiológicos en la germinación y crecimiento de la arveja *Pisum Sativum* L, con semillas expuestas a radiación gamma utilizando un irradiador de ^{60}Co .

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la correlación entre la tasa de dosis radiactiva impartida a las semillas y las características físicas y morfológicas que se observan en la germinación y crecimiento de la planta.
- Determinar la dosis radiactiva para la inhibición en la germinación en las semillas de arveja *Pisum Sativum* L.
- Escribir un artículo de divulgación científica sobre los resultados obtenidos.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Arveja

2.1.1 Origen

Es desconocido el origen exacto de esta planta alimentaria, pero se cree que fue en Asia central, Asia menor, la cuenca del Mediterráneo o Etiopía. De alguno de estos lugares, o quizá de todos ellos, se fue difundiendo su cultivo a todos los países de la zona templada y a las regiones altas de los países ubicados en la zona tropical.

La arveja es una de las cosechas alimenticias más tempranas. Su cultivo trajo estabilidad a las tribus que antes eran nómadas, y fue posible que los viajeros y exploradores trajeran las arvejas a los países mediterráneos, como también al Extremo Oriente. Actualmente, existe más de un millar de variedades de arvejas, tanto verdes como amarillas. Canadá, EE.UU., Europa, China, India, Rusia y Australia van a la cabeza de la producción de arvejas en el mundo. (ALDANA, 2001).

2.1.2 Importancia.

La importancia de la arveja radica fundamentalmente en los múltiples usos y fines: grano fresco en vaina, enlatado, congelado, grano seco entero o partido; harina de arveja, remojado, abono verde, etc. Constituye una excelente cabecera de rotación porque mejora la estructura del suelo, incorporando gran cantidad de nitrógeno atmosférico al suelo en simbiosis con bacterias del genero *Rhizobium*. Los residuos pajosos de la trilla pueden ser usados en la alimentación del ganado y para otros fines agrícolas e industriales. (VICENTE GIACONI M, 2004)

2.1.3 Descripción Botánica

La arveja es considerada como hortaliza o legumbre, herbácea, de hábito rastrero o trepador, cuyas características morfológicas lo hacen distinguible. (TERRANOVA, 1995)

Raíz: Pivotante, con numerosas raicillas secundarias y terciarias, presenta sobrecrecimientos denominados nódulos que contienen bacterias nitrificantes, cuyo papeles fijar el nitrógeno atmosférico para servir de nutrimento a la planta.

Tallo: Según la variedad, puede ser corto, mediano o largo, pero en todos los casos es hueco, ligeramente estriado, provisto de nudos y de color verde claro.

Hojas: Compuestas e imparipinadas, con folíolos elípticos, de bordes onduladas. En las hojas superiores los folíolos se transforman en zarcillos, que utiliza la planta para sostenerse.

Flores: Son blancas o moradas con nacimiento individual o en racimos, de una o dos flores en las axilas.

Fruto: El fruto seco presenta dehiscencia cuyas vainas encierran semillas lisas o arrugadas con dos cotiledones, sin endospermo, harinosas y con germinación hipogea.

2.1.4 Composición Química.

Cuadro 1-2. Composición química

| COMPONENTES | ESTADO COMPONENTES | |
|---------------|-----------------------|---------|
| | VERDE % | SECO % |
| Agua | 70-75 | 10-12 |
| Proteína | 5,0-7,0 | 20-23 |
| Carbohidratos | 14-18 | 61-63 |
| Grasa | 0,2-0,4 | 1,5-2,0 |
| Fibra | 2,0-3,0 | 5,0-7,0 |

Fuente: Terranova Enciclopedia Agropecuaria (2001)

2.1.5 Descripción Taxonómica

La descripción taxonómica de la arveja se encuentra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2-2. Clasificación Taxonómica

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Reino: | PLANTAE |
| Subreino: | Fanerógamas |
| División: | Magnoliophyta (Angiospermas) |
| Clase: | Magnoliopsida (Dicotiledóneas) |
| Subclase: | Rosidae |
| Orden: | Fabales |
| Familia: | Fabaceae (Leguminosae) |
| Subfamilia: | Papilionoideae |
| Género: | Pisum |
| Especie: | Sativum |
| Nombre científico: | Pisumsativum L |
| Nombre común: | Arveja, alverja, guisante, chícharo |

Fuente: Terranova Enciclopedia Agropecuaria (2001)

2.1.6 Variedades

Variedades Proaño (2007), establece en cuanto a variedades, que los genetistas y fitomejoradores han desarrollado un buen número de ellas, las cuales, desde el punto de vista agronómico y basado en sus características, son ubicadas en los siguientes tipos:

Período Vegetativo: Precoces, intermedias, tardías.

Color del grano seco: amarillo, verde.

Altura: enredadera, intermedias, enanas.

Hábito de crecimiento: indeterminadas, determinadas.

Superficie o testa de la semilla: lisas, arrugadas.

Uso: industrial, consumo en fresco.

El Programa Nacional de Leguminosas del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias ha obtenido nuevas variedades que se adaptan sin ninguna dificultad a las condiciones del medio. (PROAÑO J., 2007).

Cuadro 3-2. Variedades mejoradas

En el siguiente cuadro se presentan las variedades mejoradas.

| MEJORADAS | HABITO | CICLO DE CULTIVO | |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------|
| INIAP 431, Andina (Verde) | Erecta enana | EN TIERNO 85-100 días | EN SECO 115-120 días |
| INIAP 432, Lojanita (Crema) | Erecta enana | 85-100 días | 115-120 días |
| INIAP 433, Roxana (Crema) | Decumbente | 105-115 días | 130-135 días |
| INIAP 434, Esmeralda (Verde) | Decumbente | 105-115 días | 130-135 días |
| INIAP 435, Blanquita (Crema) | Decumbente | 105-115 días | 130-135 días |
| INIAP 436, Liliana (Crema) | Decumbente | 105-115 días | 130-135 días |

Fuente: INIAP (1997).

2.1.6.1 La arveja Andina

Es de origen argentino, tiene flor de color blanco, su grano es verde oscuro y el rendimiento promedio en grano seco es de 1,833 kilos por hectárea, mientras que en grano tierno es de 1,098 kilos en la misma área.

2.1.6.2 La Lojanita

Tiene su origen en la sierra ecuatoriana, colectada en la provincia de Imbabura (Pimampiro), en 1989, planta de flor blanca y grano de color crema, rinde 2,140 kilos por hectárea en grano seco y 2,496 kilos en grano tierno. (INIAP, 1997).

2.1.6.3 La Roxana

También originaria de la Sierra ecuatoriana, tiene flor blanca, grano crema y rinde 1,973 kilos por hectárea en grano seco y 3,570 kilos en grano tierno. (INIAP, 1997).

2.1.6.4 Arveja Esmeralda

Se origina en Colombia, con flor blanca, grano verde claro y su rendimiento en grano seco es de 1,640 kilos por hectárea y en grano tierno 2,436 kilos. (INIAP, 1997)

2.1.6.5 Arveja Blanquita

Es una colección de nacional realizada en el sector de Cusubamba del Cantón salcedo de la Provincia de Cotopaxi y está registrada en el catálogo del banco de Germoplasma de Frejol, Arveja Haba y Lenteja como PIS-E-174 y en el departamento nacional de recursos filogenéticos como ECU-6401. Tiene flor blanca y grano en seco crema. (INIAP, 1997).

2.1.7 Zonas Actuales del Cultivo.

Según Proaño, (2007), en el Ecuador las zonas de cultivo más potencial se encuentra en el Carchi (Tulcán-San Gabriel-El Ángel), Imbabura (Ibarra-Otavalo), Chimborazo (Riobamba-Pallatanga), Pichincha (Cayambe – Tumbaco-Quito Sur-Machachi), Bolívar (Guaranda) con variedades enanas y con decumbentes en Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pichincha, Bolívar, Loja, Cañar y Azuay. (PROAÑO J., 2007)

2.1.8 Condiciones Ecológicas

2.1.8.1 Factores climáticos

La planta se comporta muy bien en clima templado y templado-frío, con buena adaptación a períodos de bajas temperaturas durante la germinación y primeros estados de la planta. Esto favorece su enraizamiento y macollaje. Su período crítico a bajas temperaturas 5 o 7 °C, por lo general ocurre a partir de la floración de las vainas. En estas condiciones pueden ocurrir daños por heladas de cierta intensidad.

El desarrollo vegetativo tiene su óptimo de crecimiento con temperaturas comprendidas entre 16 y 20 °C, estando el mínimo entre 6 y 10 °C y el máximo en más de 35 °C. Si la temperatura es muy elevada la planta se desarrolla bastante mal. Necesita ventilación y luminosidad para que desarrolle bien. En estas condiciones pueden ocurrir daños por heladas de cierta intensidad. En general, las variedades de grano liso presentan mayor resistencia al frío que las rugosas. También, las de hojas verde oscuro tienen mayor tolerancia que las claras. (PRADO L, 2008)

2.1.8.2 Factores edafológicos

La arveja es una especie que requiere suelos de buena estructura, profundos, bien drenados, ricos en nutrimentos asimilables y de reacción levemente acida a neutra. Los mejores resultados se logran en suelos con pH entre 6 – 7.5 y bien drenados, que aseguren una adecuada aireación, y, a su vez, tengan la suficiente capacidad de captación y almacenaje de agua para permitir su normal abastecimiento, en especial durante su fase crítica (período de floración y llenado de vainas).

Un drenaje deficiente que favorezca el "encharcamiento", inclusive durante un breve período después de las lluvias o el riego, es determinante para provocar un escaso desarrollo y, en muchos casos, pérdidas por ataque de enfermedades. (PRADO L, 2008)

2.1.9 Germinación de arveja

Después de la siembra la semilla empieza a embeber agua a través de la testa y el micrópilo, aumentando gradualmente de tamaño. La etapa de imbibición puede ser dividida en dos fases:

- a) Rápida captación de agua que se completa aproximadamente en 2 días y en que la semilla aumenta significativamente de volumen.
- b) Baja tasa de captación de agua e incremento en la actividad metabólica de la semilla.

A través de procesos enzimáticos, parte del material de reserva de los cotiledones va quedando gradualmente disponible para el crecimiento del eje embrionario. Este crecimiento determina la aparición de la radícula y 1 o 2 días después, como promedio, la aparición inicial de la plúmula; ésta, al asomar por entre los cotiledones, lo hace en forma curva, protegiendo de esta manera el ápice del brote contra un posible daño; luego, hacia el final de su crecimiento, la plúmula va enderezándose gradualmente hasta lograr la emergencia.

Una vez que ocurre la emergencia, la plúmula da paso al primer par de hojas verdaderas, las cuales en primera instancia aparecen totalmente plegadas. A partir de ese momento, y bajo las hojas verdaderas, se hace visible el epicotilo, estructura que lleva consigo dos hojas rudimentarias llamadas brácteas trifidas; éstas vienen diferenciadas en la semilla, apareciendo habitualmente la primera de ellas en el subnudo más cercano a la superficie del suelo y la otra en el primer nudo de la parte aérea. (VICENTE GIACONI M, 2004)

2.1.10 Desarrollo de la planta

La planta desarrolla un tallo primario o eje central y de cero a muchos tallos secundarios, que nacen del nudo cotiledonar o de nudos superiores. Los tallos, normalmente de color verde o glauco, son huecos, glabros, delgados en la base y progresivamente más gruesos hacia el ápice, con internudos angulados siguiendo un patrón de zig-zag. El crecimiento inicial es erecto hasta poco después del inicio de floración y posteriormente postrado por el peso creciente del follaje. En cuanto a las hojas, las dos primeras son brácteas trifidas formadas inmediatamente sobre el nudo cotiledonar y pueden ser subterráneas o aéreas.

Las hojas verdaderas son alternas, glaucas o variegadas, paripinnadas, las inferiores bifoliadas, característica que va progresando hacia los ápices de las ramas, donde llegan a presentar seis folíolos ovalados, de margen entero o rara vez dentado, que se achican hacia el extremo del raquis, el que termina en un zarcillo simple o ramificado. En ciertas líneas (áfílas y leafless), en lugar de folíolos, se desarrollan zarcillos ramificados y prensiles. El pecíolo de las hojas se encuentra abrazado al tallo por un par de estípulas folíaceas, ovaladas, espolonadas hacia atrás, de margen entero, de igual o mayor tamaño que los folíolos, generalmente sobrepuestas, y que hacen un importante aporte fotosintético.

La formación del primer nudo reproductivo del tallo está determinada genéticamente. A partir de éste, se inicia la floración que prosigue secuencialmente hacia la parte superior de la planta. Los racimos axilares agrupan 1, 2 o 3 flores, generalmente blancas. La autopolinización que ocurre posteriormente se debe a la cleistogamia natural de la arveja, en que la liberación del polen ocurre 24 horas antes de la apertura de la flor, aunque igualmente se presenta un porcentaje bajo de polinización cruzada por acción de insectos.

La etapa de fructificación comienza con el desarrollo del fruto hasta alcanzar su tamaño máximo (4 a 12 cm de largo y 1 a 2 cm de ancho), para luego iniciar la etapa de llenado de granos, los que se ubican alternadamente en las valvas a lo largo de la sutura placentar de la legumbre, y culmina con la maduración de 4 a 12 semillas por vaina. (DIGNANI, 2000)

2.1.11 Valor nutritivo

Las arvejas se pueden consumir frescas o secas presentando algunas diferencias significativas respecto a su contenido en nutrientes. Las frescas son mucho más dulces y sabrosas, y contienen mucha más agua que las secas, pero menos proteínas, grasas e hidratos de carbono. El aporte energético es muy diferente si se trata de arvejas frescas (unas 74 kcal/100 g), o de arvejas secas (con un contenido calórico de unas 317 kcal/100 g). Este contenido calórico es debido principalmente a la presencia de hidratos de carbono (56%) y proteínas (21,6%), ya que su contenido en grasa es poco significativo (2,3%).

La arveja aporta cantidades considerables de hidratos de carbono, constituidos en su mayor parte por hidratos de carbono complejos como el almidón, y una pequeña proporción de sacarosa. No obstante, cuando la arveja es fresca, recién recogida, presenta un sabor más dulce, debido a la presencia de azúcares simples, que conforme pasa el tiempo, se transforman en

almidón. Es entonces cuando las arvejas se muestran algo menos dulces, se secan y son más difíciles de digerir.

El contenido proteico es diferente dependiendo de si son arvejas frescas (6%) o secas (22%). Las arvejas secas aportan las mismas proteínas que el resto de las legumbres. No obstante, las proteínas presentes en la arveja, al igual que en otras legumbres, contienen un exceso de lisina y son pobres en metionina. Por este motivo, se aconseja combinarlos con otros alimentos (con los cereales, por ejemplo, que son ricos en metionina, pero les falta lisina) para obtener una proteína de mayor calidad.

Las arvejas, como todas las legumbres, son una importante fuente de fibra. Contienen fibra de los dos tipos: soluble e insoluble. La fibra soluble ayuda a reducir niveles elevados de colesterol y azúcar en sangre, mientras que la fibra insoluble contribuye a regular el buen funcionamiento del intestino, evitando el estreñimiento. Además, la fibra en general, produce sensación de saciedad, con lo cual se nota menos “hambre”, y es muy útil para un control y pérdida de peso. Las arvejas secas contienen abundante fibra en su piel, lo que le confiere su textura rígida y dura.

Las arvejas presentan también vitaminas como tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina, piridoxina (B6), ácido fólico, vitamina K y vitamina C, así como pequeñas cantidades de alfa y beta-carotenos (precursores de la vitamina A). Es destacable la concentración de vitamina B1. Las arvejas congeladas o en lata contienen menos cantidad de vitaminas y minerales como consecuencia del procesado del alimento.

Las arvejas contienen minerales como hierro, fósforo, magnesio, cinc y potasio. Unos 150 gramos de arvejas frescas cubren aproximadamente la cuarta parte de las necesidades diarias de hierro, la quinta de las de fósforo y la sexta de las de magnesio. (PERALTA, 1999).

2.2 Radiación Ionizante.

Las Radiaciones Ionizantes son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo. Éstas pueden provenir de sustancias radiactivas, emitidas de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de Rayos X y los aceleradores de partículas. Las radiaciones ionizantes procedentes de fuentes que se encuentran en la corteza terráquea de forma natural, pueden

clasificarse como compuestas por partículas alfa, beta, rayos gamma y neutrones. Las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia viva, produciendo diversos efectos. (ROBERT N, 1998)

2.2.1 Clasificación de Radiación Ionizante

Radiación corpuscular

- Partículas alfa (núcleos de He totalmente ionizados) con bajo poder de penetración y alto poder de ionización. No pueden recorrer más de un par de centímetros en el aire. El problema para la salud radica principalmente en la ingestión o inhalación de sustancias que emitan partículas alfa, que pueden generar un gran daño en una región focalizada de los tejidos.
- Partículas beta (electrón y positrones que salen despedidos a gran velocidad de un suceso radiactivo), debido a su menor masa producen menor energía y por lo tanto menor poder de ionización que las alfa pero con un mayor poder de penetración. Se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua y puede ser frenada por una lámina de aluminio, el cristal de una ventana, una prenda de ropa o el tejido subcutáneo. Puede dañar la piel, los tejidos superficiales y si por alguna vía, ingestión o inhalación sustancias emisoras beta entraran en el cuerpo, irradiarían los tejidos internos. (JAVIER ORTEGA, 1996)

Radiación electromagnética.

- Radiación gamma (fotones con alta energía de origen nuclear) presenta un poder de ionización relativamente bajo y una capacidad de penetración alta. Para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos como el plomo y el hormigón. Pueden derivarse daños en la piel y en los tejidos más profundos.
- Radiación X (fotones con alta energía de origen extranuclear) tiene características similares a la radiación gamma. (JAVIER ORTEGA, 1996)

2.2.2 Magnitudes y Unidades

Cuadro 4-2. Magnitudes Básicas

| Magnitud | Proceso Físico Medido | Unidades S.I |
|-------------------|------------------------|---------------|
| Actividad | Desintegración nuclear | Becquerel(Bq) |
| Dosis Absorbida | Energía Depositada | Gray(Gy) |
| Dosis Equivalente | Efecto biológico | Sievert(Sv) |
| Dosis Efectiva | Riesgos | Sievert(Sv) |

Fuente: Instituto Estatal Noruego de Radiohigiene (1984), Manual de Radiohigiene, Magnitudes principales.

2.2.3 Actividad

Es el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo.

$$A = - dN / dt = \lambda N$$

Aparece también una ley exponencial para la actividad que es:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Donde A_0 es la actividad de la muestra en el instante inicial, es decir $t=0$, y A es la actividad en el instante de realizar la medida.

La unidad en la que se mide la actividad es el Becquerelio (Bq), en honor a Henri Becquerel.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps (desintegración por segundo)}$$

También se usa por razones históricas, aunque cada vez menos, el Curie(Ci), equivalente a $3.7 \cdot 10^{10}$ dps. Un Curio es la actividad que presenta un gramo de Ra-226.

Es importante la relación que existe entre actividad y masa, obviamente no son lo mismo. Una muestra radiactiva de masa grande puede ser muy poco activa si su vida media es muy pequeña. Cuando se trabaja con sustancias radiactivas se utiliza la actividad específica o actividad por unidad de masa (A/m). Su unidad será Ci/g o Bq/kg. (BUSHONG, 2005)

2.2.4 Dosis Absorbida (D)

$$D = \frac{\text{energía depositada}}{\text{unidad de masa}} = \frac{\Delta E}{\Delta M}$$

Donde ΔE es la energía depositada por la radiación en una porción de material de masa ΔM .

La unidad de dosis en el **SI** es el Gray (Gy)

$$1\text{Gy} = 1\text{J}/\text{Kg}$$

La unidad de dosis en el sistema **CS** es el rad (Radiation Absorbed Dose)

$$1\text{rad} = \frac{100\text{erg}}{\text{g}} = \frac{0,01\text{J}}{\text{Kg}} = 0,01\text{Gy}$$

Ambas unidades, Gray y rad corresponden a dosis muy elevadas, por lo que en la práctica se usan frecuentemente dosis fraccionales como el milirad (mrad) o el miligray (mGy). (BUSHONG, 2005)

2.2.5 Dosis Equivalente (H)

La definición de la dosis equivalente (H) es la siguiente:

$$H = DQ$$

Donde D es la dosis equivalente y Q el factor de calidad.

En las unidades convencionales (D expresado en rad) la dosis equivalente se expresa en “rem” (Roentgen-Equivalent-Man). Esta unidad, o más frecuentemente el mili-rem (mrem), es todavía ampliamente utilizada, sobre todo en USA.

$$1\text{rem} = 1\text{rad} \cdot Q$$

En el SI (D en Grays) la unidad de dosis equivalente es el sievert (Sv)

$$1\text{Sv} = 1\text{Gy} \cdot Q$$

Puesto que $1\text{Gy} = 100\text{rad}$, se tiene la relación entre el rem y el sievert:

$$1\text{Sv} = 100\text{rem}$$

Cuadro 5-2. Factor de calidad (Q)

| Tipo de radiación | Q |
|--------------------------------|-----|
| Rayos x y γ | 1 |
| rayos β , $E > 0,03$ MeV | 2 |
| rayos β , $E < 0,03$ MeV | 1.7 |
| Rayos α naturales | 10 |
| Núcleos pesados de retroceso | 20 |
| Neutrones: | |
| Térmicos hasta 1 keV | 2 |
| 10 keV | 2.5 |
| 100 keV | 7.5 |
| 500 keV | 11 |
| 1 MeV | 11 |
| 2.5 MeV | 9 |
| 5 MeV | 8 |
| 7 MeV | 7 |
| 10 MeV | 6.5 |
| 14 MeV | 7.5 |
| 20 MeV | 8 |

Fuente: J.E. Amaro (2006), Dosis Equivalente

2.2.6 Dosis Efectiva

La dosis efectiva (**E**) es una magnitud definida por la sumatoria de las dosis equivalentes en tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación para tejido correspondiente: (BUSHONG, 2005)

$$E = \sum_T \omega_T \cdot H_T$$

La dosis efectiva es aplicable exclusivamente en seres humanos.

2.3 Irradiadores de Cobalto

2.3.1 Cobalto-60

El Cobalto-60 (^{60}Co) es un isótopo radiactivo sintético del cobalto, con un semiperiodo de 5,27 años. El ^{60}Co decae por desintegración beta al isótopo estable níquel-60 (^{60}Ni). En el proceso de desintegración el ^{60}Co emite un electrón con una energía de 315 keV y luego el núcleo activado de ^{60}Ni emite dos rayos gamma con energías de 1,17 y 1,33 MeV, respectivamente.

2.3.2 Irradiador Gamma con Cámara de Irradiación

La fuente de irradiación está basada en ^{60}Co encapsulado en pequeños cilindros de acero inoxidable, que a su vez se introducen en una vaina o lápiz también de acero inoxidable. En esta forma se asegura una «fuente herméticamente sellada». La radiación (fotones) atraviesa el encapsulado para incidir en el material que se va a irradiar en la cámara, pudiendo penetrar más de 60 cm en productos alimenticios si se irradian por ambos lados.

El ^{60}Co emite radiación sin interrupción «no puede apagarse». Para que una persona pueda ingresar a la cámara cuando no se esté irradiando producto, la fuente de ^{60}Co se tiene que retirar a su blindaje o descender a una piscina con agua para su almacenamiento. Estos irradiadores por lo general utilizan blindajes de concreto o acero. Cuentan con enclavamientos de seguridad para impedir que el personal pueda ingresar a la cámara cuando la fuente no esté en la posición de almacenamiento. Su operación puede ser por lote o de manera continua. El producto se introduce en contenedores o se deposita alrededor de la fuente.

2.3.3 Irradiador Gamma en Inmersión

Este también utiliza una fuente basada en ^{60}Co . A diferencia del irradiador con cámara de irradiación blindada, dicha fuente permanece en el fondo de la piscina con agua. El producto a irradiarse se deposita dentro de contenedores herméticos que se introducen hasta el fondo de

esta piscina, junto a la fuente. A nivel del piso de la instalación no se requiere blindaje adicional ni enclavamientos de seguridad para evitar que durante el proceso de irradiación ingresen personas a la cámara, en virtud de que no existe tal. Los contenedores simplemente descenden, el producto se irradia y suben de regreso por medio de un mecanismo elevador. El agua actúa como blindaje y no se vuelve radiactiva. (MENOSSI, 2000)

2.3.4 Aplicaciones de un Irradiador De ^{60}Co

Las principales aplicaciones del ^{60}Co

- Fuente de radiación para irradiación de alimentos
- Elemento traza de cobalto en reacciones químicas.
- Esterilización de equipo médico.
- Fuente de radiación para radioterapia médica,
- Fuente de radiación para radiografía industrial.
- Fuente de radiación para nivelar artefactos y verificar espesores..
- Fuente de radiación para uso de laboratorio.

2.3.4.1 Irradiación de Alimentos

Irradiación de alimentos es un tratamiento que puede darse a ciertos alimentos mediante radiaciones ionizantes, generalmente electrones de alta energía u ondas electromagnéticas (radiación X o gamma). El proceso involucra exponer los alimentos a cantidades controladas de esa radiación para lograr ciertos objetivos.

Suele utilizarse el proceso para prevenir la reproducción de los microorganismos como las bacterias u hongos que causan el deterioro de los alimentos, cambiando su estructura molecular y evitando su proliferación o algunas enfermedades producidas por bacterias patógenas. También puede reducir la velocidad de maduración o el rebrote de ciertas frutas y verduras modificando o alterando los procesos fisiológicos de sus tejidos sin alterar sus propiedades nutricionales ni organolépticas o físicas. (BRUHN, 1995).

2.4 Irradiación de semillas y plantas

2.4.1 Irradiación de Papa.

Aplicación de las radiaciones ionizantes gamma con fuente de ^{60}Co , para evitar la contaminación del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad “Superchola”, debido a la infestación de semilla con la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*).

El hecho de que el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Ecuador se ha visto afectado a causa la plaga de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), se consideró investigar la aplicación de las radiaciones ionizantes gamma con la fuente de ^{60}Co como método de control para la semilla de la variedad “Superchola”, infestada con esta plaga en el estadio de huevo. En este proyecto se utilizó la fuente de ^{60}Co del Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) donde se dispuso de un espacio físico confinado para utilizarlo como cuarto de infestación y desarrollo de la plaga, para posteriormente proceder a la infestación de las muestras de papa.

Para obtener la cantidad adecuada de insectos de la plaga necesarios para iniciar la investigación, se realizó la captura de individuos adultos de los dos géneros de la polilla guatemalteca en el cuarto técnico de crecimiento dedicado a esta plaga ubicado en la Estación experimental “Santa Catalina” del INIAP y luego se los ambientó en el cuarto técnico de crecimiento del LTR para lograr su reproducción y recolectar los huevos que serían usados para la infestación de las muestras de papa. Se realizaron exposiciones a dosis de 14, 28, 56, 70, 84, 100, 200, 300, 400 y 500 Gy, para observar los efectos, tanto sobre la plaga en su estadio de huevo como en el tubérculo.

Se irradiaron, además, muestras infestadas con la plaga en los estadios de larva y de pupa y se evaluó. Para el análisis de los resultados se consideró el porcentaje de mortalidad de los individuos expuestos a la radiación para determinar la dosis letal óptima para la plaga sin que se afecte al tubérculo para su uso. Como una alternativa se consideró que el tubérculo sea utilizado para su consumo, por lo que se realizó su análisis sensorial para determinar su aceptabilidad y considerarlo como una forma de aumentar el tiempo en percha y tener un producto libre de plaga. (ACOSTA, 2009).

2.4.2 Irradiación de Quinua

El Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares de Viacha (CIAN) trabaja en la mutación química y física de alimentos para hacerlos más resistentes a la sequía. El proyecto regional RLA/5/056 se ha dedicado al mejoramiento de cultivos alimenticios por medio de mutaciones inducidas a semillas, realizadas en el laboratorio de biotecnología del CIAN, dependiente del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN).

Uno de los principales proyectos es la irradiación de semillas de quinua con rayos gamma en un proceso cuyos resultados están actualmente en observación. Dentro del proyecto, se realizan mutaciones físicas a través de rayos gamma y cobalto 60 a semillas de quinua. La irradiación es un tratamiento que se aplica a ciertos alimentos mediante rayos ionizantes, generalmente electrones de alta energía u ondas electromagnéticas (radiación X o gamma). El proceso involucra exponer los alimentos a cantidades controladas de esa radiación para lograr ciertos objetivos.

Lo que se hizo fue irradiar a las semillas con tres dosis de ^{60}Co componente del proceso en el Hospital General con valores de 100, 200 y 300 Gy. En la primera generación se mostró el daño físico en las plantas, pero en la segunda generación se observa un mejor crecimiento.

El objetivo principal del proyecto era obtener variedades que tengan mayor resistencia a la sequía para de esta manera evitar la pérdida de los cultivos. En la provincia Aroma de La Paz obtuvieron seis variedades de quinua como la real, real negra, pandela precoz, pandela tardía, pasankalla, entre otras. Al ingresar a las células, el ^{60}Co origina rupturas en la cadena de ADN, provocando que el mecanismo de la planta haga que los fragmentos separados se trasladen a otro lugar del cromosoma componentes del núcleo de cada célula provocando cambios en su organismo.

Después de este proceso, las semillas son sembradas en arena y cascarilla de arroz, libre de organismos dañinos. Para que exista una variedad estable de la planta se debe observar el crecimiento de al menos cuatro generaciones que hayan sido irradiadas. Posteriormente se busca la certificación que permita su producción para el consumo humano. Los miembros del proyecto aclaran que no son plantas transgénicas porque no se mezclan genes de diferentes especies de plantas y que tampoco representan un riesgo sembrarlas a la intemperie.

2.4.3 Irradiación de Semillas y Plantas de Arveja

- **Inducción de mutaciones utilizando rayos gamma en la variedad mejorada de arveja (*Pisum sativum* L.) INIAP 436 Liliana, para identificar genotipos resistentes a *Ascochyta* spp.**

Como objetivo de esta investigación es Inducir mutaciones, usando rayos gamma, en la variedad INIAP 436 Liliana, para identificar genotipos resistentes a *Ascochyta* spp.

Para ello esta investigación constará de tres etapas. En la primera se realizó las pruebas de dosimetría, bajo invernadero, con el fin de determinar la dosis óptima de radiación para llevar a cabo la inducción de mutaciones. La dosis óptima se refiere a aquella que produzca una reducción de hasta el 30% en las variables medidas en estas pruebas, las cuales serán: “Dinámica de Germinación”, “Porcentaje de Supervivencia”, “Altura de Plántulas” y “Longitud de Raíces”.

En la segunda etapa se irradiaron una gran cantidad de semillas con la dosis óptima determinada. Estas semillas, que constituirán la generación M1, se sembrarán en el campo. Una vez que esta generación culmine su ciclo vegetativo y produzca semillas, estas se cosecharán y constituirán la generación M2, cuyo desarrollo en el campo constituirá la tercera etapa. Cuando esta generación llegue a etapa de pre-floración, será inoculada con *Ascochyta* spp. y se evaluará la reacción de las plantas ante el hongo para identificar los genotipos resistentes.

Se utilizó dosis de 0, 50, 100, 150 y 200 Gy de rayos gamma las cuales se aplicó a semillas de arveja de la variedad INIAP 436 Liliana. El intervalo seleccionado es igualmente espaciado con la finalidad de encontrar un coeficiente y una ecuación de regresión que permita establecer de manera precisa la dosis óptima

Obteniendo como resultado una dosis óptima de rayos gamma para inducir mutaciones en la variedad INIAP 436 Liliana.

- **Efecto de radiación gamma en rendimiento y contenido de proteína en el cultivo de arveja.** (ALFREDO MONTES L, 1980)

Esta investigación fue realizada por la necesidad de mejorar las variedades de (*Pisum Sativum*) con alta calidad nutritiva. En compuestos irradiados seleccionados en seis ciclos por mayor tamaño y densidad de grano, se efectuó selección para mayor contenido de proteína.

- **Efectos de las dosis bajas de radiación gamma de corta duración sobre el crecimiento y el desarrollo a través de dos generaciones de *Pisum sativum*.** (R.ZAKA, 2004)

Los efectos de la radiación gamma de corta duración en plantas de guisante se investigaron mediante la exposición de plántulas de 5 días de edad con dosis que van de 0 a 60 Gy, y el estudio del crecimiento y desarrollo de la planta más de dos generaciones después de la irradiación.

Las dosis superiores a 60 Gy inhibió significativamente el crecimiento y la productividad de la planta G1, y ninguna de las plántulas sobrevivieron irradiación con 40 Gy o más. Estos efectos fueron transmitidos y fueron aún más grave en la próxima generación, G2. Irradiados G1 (≥ 10 Gy) y plantas G2 (≥ 0.4 Gy) fueron significativamente más pequeños que los controles. El número medio de vainas producidas por planta se redujo en al menos 20% en todas las dosis en ambos G1 y G2. En paralelo, el medio número de óvulos y semillas por vaina desarrollado normalmente se redujeron significativamente después de 10 Gy en G1 y después de 0,4 Gy en G2, dando lugar a una caída significativa en la producción de semillas.

Este efecto se correlaciona con una disminución lineal en el macho fertilidad vinculado a meiosis anormal (tétradas con micronúcleos) como una función de la dosis de 0 a 10 Gy, en G1 y G2 plantas. Estos cambios a largo plazo en el desarrollo de la planta demuestran una inestabilidad genómica inducida por irradiación. Sin embargo, no había ni cambios cuantitativos ni cualitativos en las proteínas de almacenamiento en semillas G1 en cualquiera de las dosis de irradiación probados 0-10 Gy.

- **El uso de los rayos gamma para inducir mutaciones en cuatro guisante (*Pisum sativum* L.)** (CEMALETTIN YASAR, 2004)

El estudio informa de una optimización de 3 pasos para averiguar los efectos de las citoquininas BAP y TDZ sobre la germinación de las semillas y los rayos gamma para inducir mutaciones en 4 variedades de guisante: Ganador, Sprinter, Bolero y Karina. Se

observó que la germinación fue independiente de la dosis de rayos gamma y se ve afectada principalmente por la capacidad de germinación de los genotipos y las dosis de BAP y TDZ en el medio de germinación.

Germinación de las semillas era mejor en medio de germinación que contiene 50 μM de BAP 10 μM TDZ. Se observó enraizamiento variable en los brotes obtenidos de semillas germinadas no irradiadas en medio MS que contiene 50 μM BAP. Sin embargo, los brotes de 2 cv. Ganador irradiado con 60 Gy y Karina irradiada con 140 Gy rayos gamma y germinaron en 50 μM BAP mostraron enraizamiento reducida.

- **Una mutación *tl2*, en guisante (*Pisum sativum*L.) Afecta el desarrollo de hojas sólo en el estado heterocigoto.** (GOREL, 2005)

Después de la irradiación gamma de semillas de guisantes, una mutación designada como zarcillos menos 2 (*tl2*) fue inducida . En el estado heterocigoto, se transforma en zarcillos folletos estrechísimo que se asemejan a los heterocigotos fenotipo de la mutación *tl* clásico. Los tentáculos de la doble heterocigoto *tl2/+*, *tl/+* se convierten en hoja. Una ovalada como *tl*, la nueva mutación en el estado homocigoto no afecta zarcillos. El fenotipo de la hoja de homocigotos *tl2 / tl2* y *TL2 / TL2* no difieren en el *tl / +* fondo. Sin embargo, la pigmentación de la antocianina es fuertemente reprimida en pétalos plantas de *tl2/tl2*.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características de Equipos y Materiales

3.1.1 Equipo irradiador: JLSHEPARD MODEL 109 COBALTO-60

Para irradiar las muestras se utilizó el irradiador de ^{60}Co , perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), la cantidad a ser irradiada fue de 10 muestras, cada una con 100 semillas y un peso aproximado de 300 gr.



Gráfico 1-3. Equipo Irradiador

Fuente: Manual de Operación y en Caso de Emergencia del LSCD SCAN 2013.

Cuadro 6-3. Características generales del irradiador de muestras

| JLSHEPARD MODEL 109 COBALTO-60 | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|--------|------------------|------------|-----|------|-----|
| Actividad Inicial A_0 | 11500 | Ci | Fecha A_0 | 1988-06-10 | | | |
| Tasa de Dosis Inicial $D_0(t)$ | 14,42 | Gy/min | Fecha $D_0(t)$ | 2007-10-24 | | | |
| Periodo de Semidesintegración | 5,2712* | Años | Energía gamma | 1,17 | MeV | 1,33 | MeV |

Fuente: Manual de Operación y en Caso de Emergencia del LSCD SCAN 2013. *<http://atom.kaeri.re.kr/>

3.1.2 Cálculo del tiempo de irradiación

Tiempo transcurrido desde 2007-10-24 hasta 2016-02-02 = 3023 días (hoja de cálculo electrónico)

$$3023 \text{ dias} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365.24 \text{ dias}} = 8.276750 \text{ años}$$

Dosis actual (a la fecha de irradiación: 2016-02-02)

$$\dot{D} = \dot{D}_o * e^{\frac{-\ln(2)}{t_{1/2}} * t}$$

$$\dot{D} = 14.42 \frac{\text{Gy}}{\text{min}} * e^{\frac{-\ln(2)}{5.2712 \text{ años}} * 8.276750 \text{ años}}$$

$$\dot{D} = 4.856160 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 1

$$t_1 = \frac{D \text{ requerida}}{D \text{ actual}}$$

$$t_1 = \frac{20 \text{Gy}}{4.85 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}} = 4.12 \text{min}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 2

$$t_2 = \frac{40 \text{Gy}}{4.85 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}} = 8.25 \text{min}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 3

$$t_3 = \frac{60 \text{Gy}}{4.85 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}} = 12.37 \text{min}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 4

$$t_4 = \frac{80 \text{Gy}}{4.85 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}} = 16.49 \text{min}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 5

$$t_5 = \frac{100 \text{Gy}}{4.85 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}} = 20.62 \text{min}$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 6

$$t_6 = \frac{120Gy}{4.85 \frac{Gy}{min}} = 24.74min$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 7

$$t_7 = \frac{140Gy}{4.85 \frac{Gy}{min}} = 28.86min$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 8

$$t_8 = \frac{160Gy}{4.85 \frac{Gy}{min}} = 32.99min$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 9

$$t_9 = \frac{180Gy}{4.85 \frac{Gy}{min}} = 37.11min$$

Tiempo de Irradiación para Tratamiento 10

$$t_{10} = \frac{200Gy}{4.85 \frac{Gy}{min}} = 41.23min$$

3.2 Procedimiento y manejo de las semillas

Para esta investigación se utilizó semillas de arveja *Pisum sativum L.*, variedad Esmeralda, se origina en Colombia, es de flor blanca, de grano verde. En Ecuador desde hace muchos años, la arveja Esmeralda es utilizada en múltiples formas y fines como en vaina, grano tierno, enlatados, congelados y del grano seco entero o partido se hace harina, también se utiliza como abono verde.

3.2.1 Preparación de las muestras

Las semillas de arveja *Pisum sativum* L., variedad Esmeralda, se compraron en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, ubicado en la Panamericana Sur Km. 1, Sector Cutuglagua, Cantón Mejía, Pichincha, el costo por kilo de semilla de arveja es de seis dólares. Para el testigo se utilizó la misma semilla que se compró y se envió a irradiar.

Las semillas fueron enfundadas herméticamente, cada muestra contenía 100 semillas siendo en total 10 muestras, las mismas fueron etiquetadas con su respectiva dosis de radiación: 200 Gy, 180 Gy, 160 Gy, 140 Gy, 120 Gy, 100 Gy, 80 Gy, 60 Gy, 40 Gy, y a 20 Gy.



Gráfico 2-3. Preparación de muestras
Fuente: Ilguan María

3.2.2 Transporte e irradiación

Las muestras a irradiar fueron transportadas hacia la SCAN, el día 1 de febrero del 2016, la irradiación se realizó el día 2 de febrero del 2016 y el retorno de las mismas fue el día 5 de febrero del 2016. Las 10 muestras viajaron selladas herméticamente, cada funda fue etiquetada con su respectiva dosis de irradiación, las muestras se puso en un cartón pequeño la misma que estaba forrada con papel aluminio.



Gráfico 3-3. Muestras empacadas para el transporte a la SCAN
Fuente: Ilguan María

3.2.3 *Sembrado*

La preparación de terreno se hace con anterioridad al día del sembrado, hay que arar para dejar el terreno mullido, desterronado, suelto y bien nivelado para asegurar una buena germinación de la semilla.

Luego cuando ya está listo el terreno para la siembra se procedió a formar las 11 parcelas cada parcela con una distancia de 50cm. Una vez nivelado el terreno y hechas las parcelas, se realiza los surcos cada uno con una distancia de 30cm.



Gráfico 4-3. Preparación del terreno
Fuente: Ilguan María



Gráfico 5-3. Parcelas de Estudio

Fuente: Ilguan María

El experimento consistió en la siembra del cultivo de *Pisum sativum* L., ubicado en la comunidad de San José de Sablog del cantón Guamote, provincia de Chimborazo en Ecuador a una altitud de 3.050 msnm, una temperatura media de 12 °C, una humedad relativa del 96,8%, una nubosidad de 3.1 horas/día y precipitaciones promedio anuales de 681.3 mm. El clima ha ido variando, a pesar esto de octubre a mayo predomina el clima propio de invierno húmedo y frío y de Junio a septiembre predomina el verano cálido, seco y ventoso.



Gráfico 6-3. Localización del Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo

Fuente: maps.google.com

3.2.4 Germinación

En esta etapa se realiza observaciones cada día ya que la semilla puede germinar cualquier día de la primera semana. La germinación empieza al 4to día de la siembra; aparecen el hipocótilo y la radícula que empiezan a crecer el primero hacia la superficie del suelo y el otro en sentido contrario. La germinación es hipógea con la particularidad de que sus cotiledones no salen a la superficie debido a que el hipocótilo no se alarga.



Gráfico 7-3. Germinación de Arveja

Fuente: Ilguan María

Las raíces están cubiertas por diminutos pelos que discurren nutrientes desde el suelo. Las semillas proveen poca comida para las plantas en crecimiento, por ello las raíces deben establecerse rápidamente para que las plúmulas puedan enviar sus retoños verdes hacia la superficie.

Las plúmulas se extienden hacia la superficie, moviéndose hacia atrás para proteger a sus pequeñas hojas de rupturas. Una vez que la superficie del suelo es atravesada, las diminutas hojas se abren a medida que los tallos se estiran hacia arriba.

Las diminutas hojas ya tienen la clorofila necesaria para obtener la energía del sol además de agua y dióxido de carbono para producir los azúcares y almidones que necesitan las plantas en crecimiento. Las estructuras de las raíces sostendrán las plantas de arveja hasta que el proceso de fotosíntesis haya comenzado.



Gráfico 8-3. Formación de diminutas hojas

Fuente: Ilguan María

3.2.5 Crecimiento

Una vez que ha emergido la pequeña planta, empieza a desarrollarse el primer par de hojas verdaderas a la vez que se desprenden los cotiledones o falsas hojas. Esta ocurre a los 10 o 15 días de la siembra en donde la plúmula da paso al primer par de hojas verdaderas a partir de ese momento y bajo estas se hace visible el epicótilo estructura que lleva consigo dos hojas rudimentarias llamadas brácteas trifidas.



Gráfico 9-3. Crecimiento de la planta de arveja

Fuente: Ilguan María

El desarrollo vegetativo empieza cuando la planta desarrolla las primeras hojas verdaderas, sucesivamente se forman los nudos vegetativos y el tallo principal comienza a ramificarse a partir del segundo nudo. El crecimiento del tallo continúa, las hojas, foliolos y zarcillos van apareciendo y las ramas se desarrollan igual que el tallo principal, pero de menor tamaño. Esta fase se cumple entre tres y seis semanas.



Gráfico 10-3. Medición del tamaño de la planta

Fuente: Ilguan María

Durante esta etapa se tomará datos para ver los resultados de la irradiación de la semilla de arveja, las características a considerar son el diámetro del tallo principal, numero ramificaciones y tamaño de la planta, estas características van a medirse cada 8 días.



Gráfico 11-3. Desarrollo de la planta de arveja

Fuente: Ilguan María

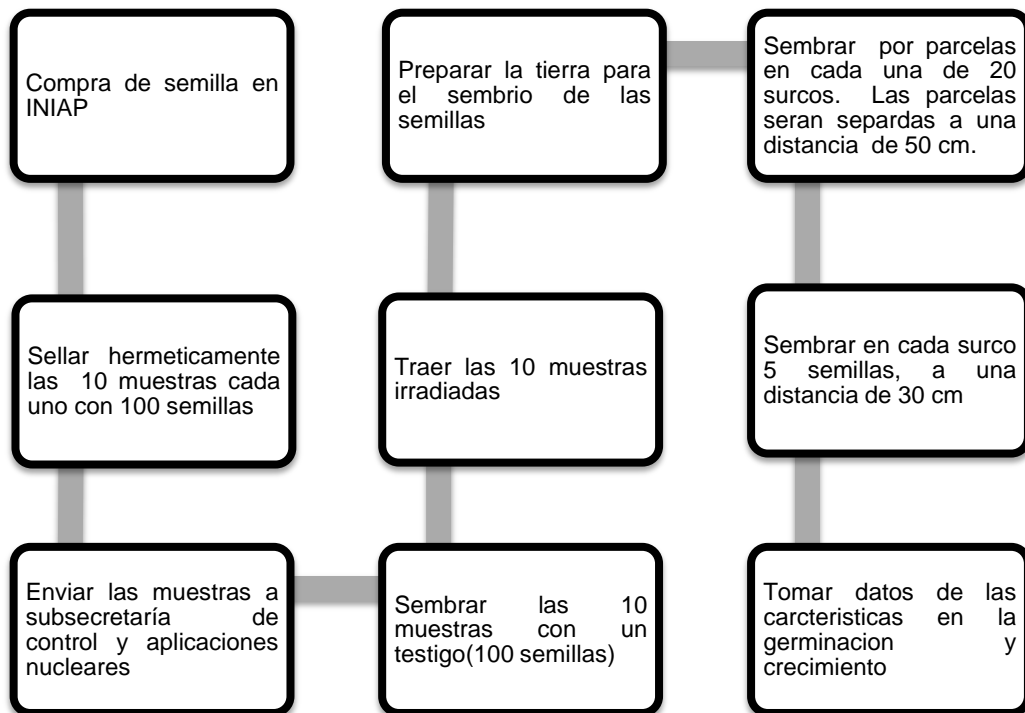


Gráfico 12-3. Resumen del proceso del Trabajo Experimental

Fuente: Ilguan María

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

Tratamientos son las dosis a las cuales fueron expuestas las semillas de arveja *Pisum sativum L.*, variedad Esmeralda, las 10 muestras fueron irradiadas a diferentes dosis y la muestra número 11 es el testigo, semilla sin irradiación.

Cuadro 7-4. Dosis – Tratamiento

| TRATAMIENTO | Dosis (Gy) |
|-------------|------------|
| 1 | 20 |
| 2 | 40 |
| 3 | 60 |
| 4 | 80 |
| 5 | 100 |
| 6 | 120 |
| 7 | 140 |
| 8 | 160 |
| 9 | 180 |
| 10 | 200 |
| 11 | Testigo |

Fuente: Ilguan María

Variables:

- N G E. Número de germinaciones efectivas
- D G. Días para la Germinación
- G T P. Grosor del tallo principal
- N R. Número de ramificaciones
- T P. Tamaño de la planta

Con el fin de determinar si los tratamientos tienen efecto sobre las diferentes medias de las variables en estudio, se realizó un análisis de varianza para cada una de ellas, en dicho análisis se contrasta el siguiente sistema de hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} \\ \text{vs}$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para cualquier } i, j$$

En otras palabras se está contrastando la hipótesis de que las medias de cada uno de los tratamientos para cada variable son iguales vs que al menos una de ellos es diferente.

Un supuesto importante para este análisis es que la varianza entre tratamientos deben ser iguales (homogeneidad de varianzas). Por lo tanto antes de cada análisis se debe verificar dicho supuesto, para garantizar confiabilidad en los resultados obtenidos. En las siguientes secciones se realizara el análisis de la varianza para cada variable.

Variable: Días para la Germinación (DG)

Cuadro 8-4. Prueba de homogeneidad de varianzas

| DG | | | |
|-----------------------|-----|-----|------|
| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| ,502 | 10 | 99 | ,885 |

Fuente: Ilguan María

La prueba de homogeneidad de varianzas no es significativa ya que $0,885 > 0,05$. Por lo tanto no se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas

Cuadro 9-4. Anova de un Factor

| ANOVA | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|------------------|-------|------|
| DG | | | | | |
| | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Inter-grupos | 32,273 | 10 | 3,227 | 5,862 | ,000 |
| Intra-grupos | 54,500 | 99 | ,551 | | |
| Total | 86,773 | 109 | | | |

Fuente: Ilguan María

En el cuadro 9 se puede observar que se rechaza la hipótesis de igualdad de tratamientos ($P\text{-valor} < 0,05$) por lo tanto con una confianza del 95% se afirma que los tratamientos tienen un efecto diferente en los días de germinación.

Cuadro 10-4. Análisis Scheffé^a de la variable DG

| DG | | | | |
|--|------|----|------------------------------|------|
| Scheffé ^a | | | | |
| TRATAMIENTOS | | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | |
| | | | 1 | 2 |
| dimension1 | 1 | 10 | 5,00 | |
| | 2 | 10 | 5,60 | 5,60 |
| | 4 | 10 | 5,60 | 5,60 |
| | 3 | 10 | 5,70 | 5,70 |
| | 6 | 10 | 5,80 | 5,80 |
| | 5 | 10 | 6,10 | 6,10 |
| | 11 | 10 | 6,10 | 6,10 |
| | 7 | 10 | 6,40 | 6,40 |
| | 8 | 10 | | 6,70 |
| | 10 | 10 | | 6,70 |
| | 9 | 10 | | 6,80 |
| | Sig. | | ,074 | ,237 |
| Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. | | | | |
| a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,000. | | | | |

Fuente: Ilguan María

Los tratamiento 8, 9 y 10 del subconjunto 2 son los que más tardan en germinar, y los demás tratamientos germinan entre 5 – 6,40 días incluido el testigo.

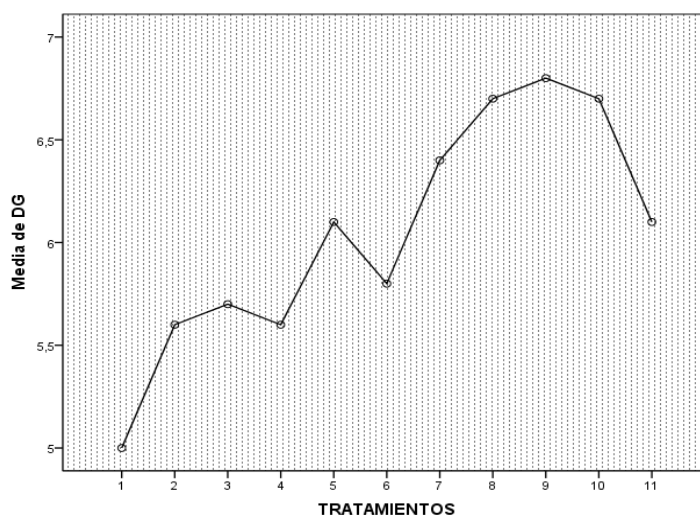


Gráfico 13-4. Tratamientos VS Días Para la Germinación

Fuente: Ilguan María

En el Gráfico 13 se aprecia que la dosis radiactiva afecta la germinación es así que a dosis altas la semilla, germina en un tiempo de 6 hasta 7 días. A dosis bajas la semilla, empieza a germinar a los 4 días en adelante

Variable: Número de germinaciones efectivas (NGE)

La germinación de arveja fue más efectiva a dosis de 20 Gy, 40 Gy, a las dosis de 60 Gy, 80 Gy, 100 Gy, germinaron más del 50% de las semillas y a dosis de 120 Gy, 140 Gy, 160 Gy, 180 Gy, y a 200 Gy germinaron menos del 50% de las semillas. Gráficamente se determinó la Dosis Letal 50 DL_{50} , que es la dosis a la cual se inhibió el 50% de las germinaciones efectivas correspondiéndole 116 Gy.

Cuadro 11-4. Numero de Germinaciones Efectivas

| TRATAMIENTO | DOSIS | N G E |
|-------------|---------|-------|
| 1 | 20 | 100 |
| 2 | 40 | 100 |
| 3 | 60 | 92 |
| 4 | 80 | 81 |
| 5 | 100 | 66 |
| 6 | 120 | 47 |
| 7 | 140 | 35 |
| 8 | 160 | 32 |
| 9 | 180 | 26 |
| 10 | 200 | 20 |
| 11 | Testigo | 87 |

Fuente: Ilguan María

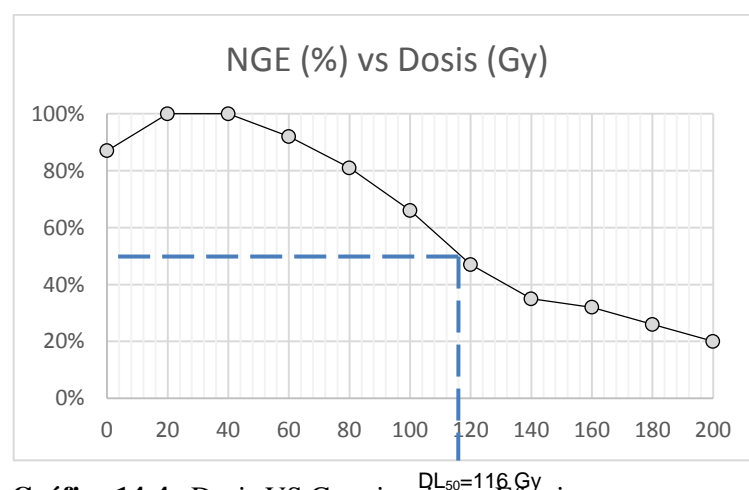


Gráfico 14-4. Dosis VS Germinaciones Efectivas

Fuente: Ilguan María

Variable: Grosor del tallo principal (GTP)

Cuadro 12. Prueba de homogeneidad de varianzas

| G T P (mm) | | | |
|-----------------------|-----|-----|------|
| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| 1,518 | 10 | 99 | ,144 |

Fuente: Ilguan María

La prueba de homogeneidad de varianzas no es significativa ya que $0,144 > 0,05$

Cuadro 13-4. Anova de un Factor

| ANOVA | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|------------------|--------|------|
| G T P (mm) | | | | | |
| | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Inter-grupos | 353,673 | 10 | 35,367 | 60,368 | ,000 |
| Intra-grupos | 58,000 | 99 | ,586 | | |
| Total | 411,673 | 109 | | | |

Fuente: Ilguan María

En el cuadro 13 se puede observar que se rechaza la hipótesis de igualdad de tratamientos (P -valor $< 0,05$) por lo tanto con una confianza del 95% se afirma que los tratamientos tienen un efecto diferente en los días de germinación.

Cuadro 14-4. Análisis Scheffé de la variable GTP

| G T P (mm) | | | | | | |
|----------------------|----|----|------------------------------|-------|-------|-------|
| Scheffé ^a | | | | | | |
| TRATAMIENTOS | | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 10 | 10 | 11,90 | | | |
| | 9 | 10 | 12,70 | | | |
| | 8 | 10 | 12,90 | | | |
| | 5 | 10 | 13,10 | 13,10 | | |
| | 6 | 10 | 13,10 | 13,10 | | |
| | 7 | 10 | 13,10 | 13,10 | | |
| | 4 | 10 | 13,40 | 13,40 | | |
| | 11 | 10 | | 14,50 | 14,50 | |
| | 3 | 10 | | | 15,00 | |
| | 2 | 10 | | | | 17,10 |
| | 1 | 10 | | | | 17,80 |

| | | | | | | |
|--|------|--|------|------|------|------|
| | Sig. | | ,051 | ,098 | ,995 | ,935 |
| Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. | | | | | | |
| a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,000. | | | | | | |

Fuente: Ilguan María

El Grosor del tallo es más grueso a tratamientos 1 y 2, del subconjunto 4, y a tratamientos 10, 9 y 8 el tallo es bastante delgado, este pertenece al subconjunto 1.

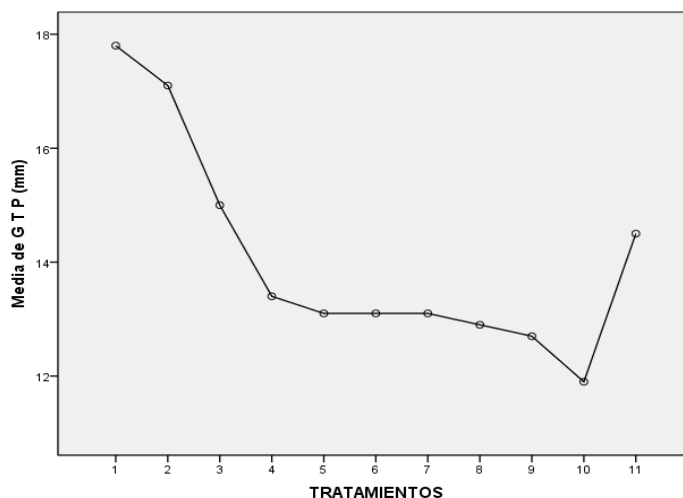


Gráfico 15-4. Grosor del tallo Principal para cada Muestra

Fuente: Ilguan María

De acuerdo a los datos obtenidos durante el trabajo experimental, se puede verificar la diferencia del grosor del tallo principal de la planta de arveja, con las dosis que fueron irradiados cada muestra. A dosis altas el tallo de la arveja fue delgado y débil en comparación a las dosis bajas. El testigo se encuentra entre dosis alta y dosis baja.

Variable: Número de ramificaciones (NR)

Las ramas de la planta de la arveja depende del tamaño de la planta es decir si la planta es de una altura mayor el número de ramificaciones también es mayor.

Cuadro 15-4. Prueba de homogeneidad de varianzas

| Prueba de homogeneidad de varianzas | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|------|
| N R | | | |
| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| ,543 | 10 | 99 | ,855 |

Fuente: Ilguan María

La prueba de homogeneidad de varianzas no es significativa ya que $0,885 > 0,05$

Cuadro 16-4. Anova de un factor

| ANOVA | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|------------------|--------|------|
| N R | | | | | |
| | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Inter-grupos | 145,255 | 10 | 14,525 | 28,032 | ,000 |
| Intra-grupos | 51,300 | 99 | ,518 | | |
| Total | 196,555 | 109 | | | |

Fuente: Ilguan María

En el cuadro 9 se puede observar que se rechaza la hipótesis de igualdad de tratamientos ($P\text{-valor} < 0,05$) por lo tanto con una confianza del 95% se afirma que los tratamientos tienen un efecto diferente en los días de germinación.

Cuadro 17-4. Análisis Scheffé^a de la variable NR

| N R | | | | | | | | |
|--|----|----|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Scheffé ^a | | | | | | | | |
| TRATAMIENTOS | | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 10 | 10 | 3,10 | | | | | |
| | 9 | 10 | 3,20 | 3,20 | | | | |
| | 8 | 10 | 3,70 | 3,70 | 3,70 | | | |
| | 7 | 10 | 4,20 | 4,20 | 4,20 | 4,20 | | |
| | 6 | 10 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | |
| | 4 | 10 | | 4,60 | 4,60 | 4,60 | 4,60 | |
| | 5 | 10 | | 4,60 | 4,60 | 4,60 | 4,60 | |
| | 3 | 10 | | | 5,00 | 5,00 | 5,00 | |
| | 11 | 10 | | | | 5,30 | 5,30 | |
| | 2 | 10 | | | | | 5,80 | |
| | 1 | 10 | | | | | | 7,30 |
| Sig. | | | ,055 | ,055 | ,109 | ,322 | ,109 | 1,000 |
| Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. | | | | | | | | |
| a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,000. | | | | | | | | |

Fuente: Ilguan María

El número de ramas para el tratamiento 1 tiene una media de 7,30, indicando que únicamente a este tratamiento las ramas son en mayor cantidad. El menor número de ramas se da a tratamiento 10, 9 y 8 y con los demás tratamientos el número de ramas esta entre 4,20 – 5,80, el testigo tiene una media de 5,30.

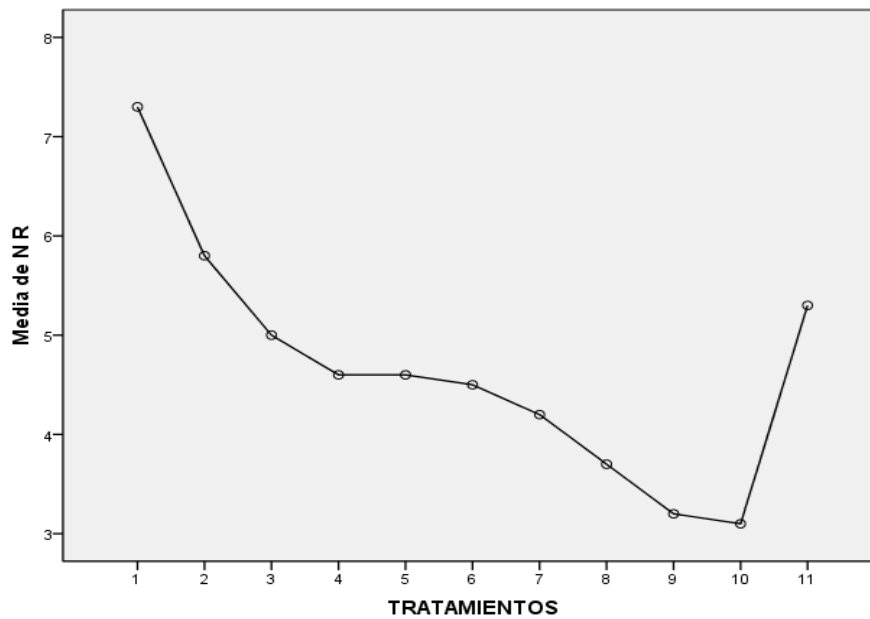


Gráfico 16-4. Numero de ramificaciones para cada muestra
Fuente: Ilguan María

El número de ramificaciones también es dependiente, de la dosis con la que fueron irradiadas cada muestra, a dosis de 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy la planta es más grande, por ende las ramas son mayores que las de 80 Gy, 100 Gy, 120 Gy, 140 Gy, 160 Gy, 180 Gy, y a 200 Gy. Es así que el número de ramas se van disminuyendo a mayor dosis de irradiación.

Variable: Tamaño de la planta (TP)

Cuadro 18-4. Prueba de homogeneidad de varianzas

| Prueba de homogeneidad de varianzas | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|------|
| TP (cm) | | | |
| Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| 4,463 | 10 | 99 | ,000 |

Fuente: Ilguan María

La prueba de homogeneidad de varianzas es significativa ya que $0,00 < 0,05$

Cuadro 19-4. Anova de un factor

| ANOVA | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|------------------|---------|------|
| TP (cm) | | | | | |
| | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Inter-grupos | 68714,273 | 10 | 6871,427 | 872,814 | ,000 |
| Intra-grupos | 779,400 | 99 | 7,873 | | |
| Total | 69493,673 | 109 | | | |

Fuente: Ilguan María

En el cuadro 9 se puede observar que se rechaza la hipótesis de igualdad de tratamientos ($P\text{-valor} < 0,05$) por lo tanto con una confianza del 95% se afirma que los tratamientos tienen un efecto diferente en los días de germinación.

Cuadro 20-4. Análisis Scheffé^a de la variable TP

| TP (cm) | | | | | | | | | | |
|--|------|----|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Scheffé ^a | | | | | | | | | | |
| TRATAMIENTOS | | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | 10 | 10 | 30,30 | | | | | | | |
| | 9 | 10 | 34,50 | | | | | | | |
| | 8 | 10 | | 41,90 | | | | | | |
| | 7 | 10 | | | 48,00 | | | | | |
| | 6 | 10 | | | 50,60 | | | | | |
| | 5 | 10 | | | | 58,10 | | | | |
| | 11 | 10 | | | | | 68,30 | | | |
| | 4 | 10 | | | | | 68,50 | | | |
| | 3 | 10 | | | | | | 80,00 | | |
| | 2 | 10 | | | | | | | 99,80 | |
| | 1 | 10 | | | | | | | | 112,40 |
| | Sig. | | ,355 | 1,000 | ,929 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. | | | | | | | | | | |
| a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,000. | | | | | | | | | | |

Fuente: Ilguan María

En este cuadro se puede verificar que la planta tiene más altura al tratamiento 1, a los tratamientos 2, 3 y 4 la altura de la planta es más grande que del testigo (68,30cm), y la planta es más pequeña que el testigo con los tratamientos 9, 8, 7, 6 y 5.

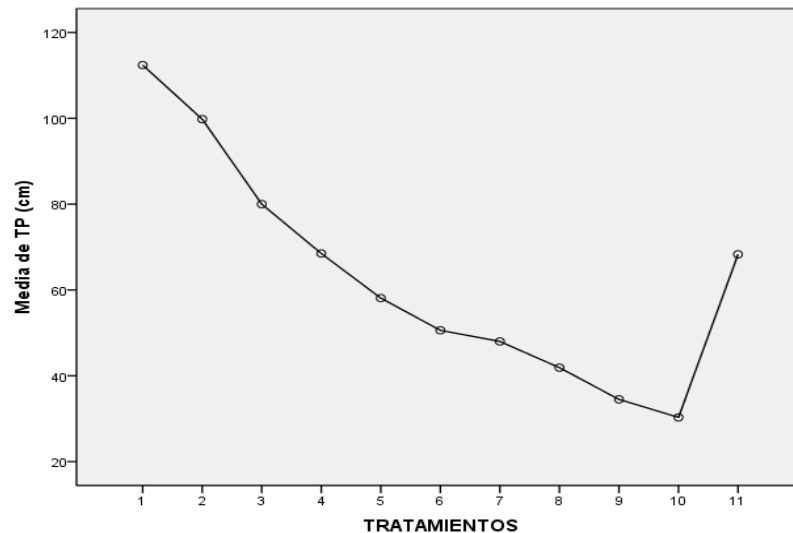


Gráfico 17-4. Tamaño de la planta para cada muestra
Fuente: Ilguan María

En este grafico se puede verificar el resultado de la irradiación a diferentes dosis, el TP va disminuyendo a lo que la dosis de irradiación es más alta.

4.2 Discusión de los resultados

La irradiación de las semillas de arveja *Pisum Sativum* L, genera cambios fisiológicos tanto en la germinación como en el crecimiento de la planta. Es decir a dosis altas las semillas se inhiben, y a dosis bajas las semillas nacen y crecen mostrando diferencias en las características físicas.

A Dosis de 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy las semillas germinan casi el 100%, y a medida que el nivel de dosis se incrementa, la germinación se ve afectada es decir disminuye el número de germinaciones. Entonces en comparación con el testigo se puede decir que los tratamientos más factibles esta entre 20 Gy - 60 Gy ya que a estas Dosis las semillas germinan en un porcentaje mayor al testigo.

El tiempo que transcurre para la germinación de las semillas se altera de acuerdo a los siguientes resultados, para dosis entre 20 Gy - 80 Gy la media del tiempo es 5.47 días, y para Dosis de 100 Gy – 200 Gy está entre 6 y 7 días. La media del tiempo de germinación del testigo es de 6,10 días.

La media de la variable Número de Ramificaciones a dosis de 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy, es de 6,03, en cambio a dosis más altas el número de ramas va disminuyendo, porque al ser la planta pequeño en su altura las ramas son escasas. El tamaño de la planta también depende del nivel de Dosis a la cual fue irradiada la semilla, a Dosis de 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy la media del TP es 97,4 y a Dosis de 80Gy – 200 Gy el tamaño disminuye a lo que se incrementa la Dosis. La media del TP del testigo es 62,95 y la media del NR es 5,30.

El tallo de la planta a dosis de 20 Gy, 40 Gy es gruesa (17mm) por ende puede soportar mayor número de ramas. Las plantas a dosis de 60 Gy – 200 Gy tienen el tallo delgado y débil. La media del GTP es de 14,5mm es decir que el tallo es grueso a pesar de que la planta es pequeña.

CONCLUSIONES

La tasa de dosis radiactiva impartida a las semillas de arveja *Pisum Sativum* L. altera a las características físicas y morfológicas tanto en la germinación de la semilla como en el crecimiento de la planta. La media del tiempo de germinación del testigo es de 6,10 días con una desviación típica de 0,876. Se evidenció una mayor estimulación en la germinación con tratamiento a 20 Gy con una media de 5,0 días, aumentando el tiempo de germinación de manera progresiva hasta los 180 Gy con una media de 6,80 días, luego de esto se presenta una aparente disminución en el tiempo. El tratamiento 5 a 100 Gy presenta iguales características que el testigo para esta variable.

Los tratamientos a dosis de 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy presentan un tamaño de planta mayor al testigo cuya media es de 68,30 cm con una desviación típica de 4,715 cm, para todos los demás tratamiento se presenta tamaños por debajo de la media del testigo, el mayor tamaño fue de 112,40 cm a 20 Gy y el menor tamaño 30,30 cm a 200 Gy. El número de ramificaciones del testigo es de 5.3 con una desviación típica de 0,675, resulta ser mayor en las dosis de 20 Gy y 40 Gy, luego de esto son inferiores, teniendo un máximo de 7.3 a 20 Gy y 3.10 a 200 Gy. Para el grosor del tallo principal se tiene un máximo de 17.80 mm a 20 Gy y un mínimo de 11,90 a 200 Gy, la media del testigo es de 14,50 mm resultando ser de mayor grosor las plantas expuestas a 20 Gy, 40 Gy y 60 Gy.

El número de germinaciones efectivas se dio al 100% para 20 Gy y 40 Gy luego va decreciendo a mayor dosis llegando hasta el 20 % a 200 Gy. La media del testigo es del 87%, existiendo una estimulación a las dosis mencionadas las cuales además germinaron más pronto que las de mayor dosis. La Dosis Letal Mediana DL_{50} fue de 116 Gy, estableciéndose este valor como la dosis en la cual el 50% de las semillas fueron inhibidas de germinación debido a la radiación gamma.

RECOMENDACIONES

Irradiar las semillas de arveja *Pisum Sativum* L a dosis entre 20 - 60 Gy, para obtener resultados que mejoren las características físicas y morfológicas que aporten a la producción de la misma.

Realizar observaciones continuas de las características físicas de la planta, para obtener más datos que aporte a la mejora de la semilla y por ende a la calidad y cantidad de producción.

Utilizar los resultados del presente trabajo, para futuras investigaciones que analicen características químicas y biológicas de la producción de la arveja irradiada.

GLOSARIO

⁶⁰CO: Cobalto-60 es un isótopo radiactivo sintético del cobalto, con un periodo de semidesintegración de 5,27 años

CIAN: Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares

DG. Días para la Germinación

EPN: Escuela Politécnica Nacional

GTP. Grosor del tallo principal

HIPOCÓTILO: Cuando se produce la embriogénesis, a medida que el embrión crece durante la germinación, envía un brote (la radícula), que se convertirá en la raíz primaria al penetrar el suelo.

HIPÓGEA: Germinación de la semilla cuando el o los cotiledones permanecen por debajo de la superficie del suelo.

IBTEN: Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear

INIAP: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

NGE. Numero de germinaciones efectivas

NR. Número de ramificaciones

PISUM SATIVUM L: es una planta herbácea de la familia de las leguminosas

RADIACIÓN GAMMA: Son fotones usualmente de muy alta energía, emitidos por núcleos inestables u otros procesos.

RADIOSENSIBILIDAD: es la sensibilidad que tienen los diferentes tejidos y células a las radiaciones ionizantes.

SCAN: Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares

TP. Tamaño de la planta

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **Alfredo Montes I. (1980).** Radiación gamma a las semillas de arveja. Departamento de publicaciones de la universidad agraria.
- ✓ **Bruhn, M. (1995).** En journal of food protection (págs. 175-181). International association for food protection.
- ✓ **Bushong, C. (2005).** Manual de radiologia para tecnicos. Madrid, españa: edide,s.l.
- ✓ **Cemalettin Yasar, a. D. (2004).** Use of gamma rays to induce mutations in four pea. Corresponding author.
- ✓ **Gorel, V. A. (2005).** A mutation,tl2, in pea (pisum sativuml.) Affects leafdevelopment only in the heterozygous state. Theor appl genet.
- ✓ **Iniap. (Septiembre de 1997).** Variedades de arveja. Quito, pichincha, ecuador.
- ✓ **Javier ortega, J. (1996).** Radiaciones ionizantes. Barcelona: edicions upc.
- ✓ **Manuel Pinto, L. (2000).** Efecto de la radiación ultravioleta-b sobre el crecimiento y la fotosíntesis de siete variedades de trigo (triticum aestivum l.). Revista chilena de historia natural, 9.
- ✓ **Menossi, A. (2000).** Plantas de irradiacion . Recuperado el 25 de 08 de 2015, de <http://www.latu.org.uy/docs/4-normativas-de-un-irradiador-gama-carlos-menossi.pdf>
- ✓ **Osorio A. (2012).** Inhibición de la germinación de cuatro materiales de arveja (pisum sativum),. Vitae, pp. S63-s65.
- ✓ **Peralta, C. (1999).** Chocho, frejol, y arveja leguminosas de grano comestible. Con gran mercado potencial en ecuador. Quito- ecuador.

- ✓ **Prado I. (2008).** “evaluación agronómica de dos líneas de arveja (*pisum sativum* l.) y su efecto a la fertilización química y orgánica, en el cantón chimbo”. Boliva, ecuador: tesis de ingeniero agrónomo.
- ✓ **Proaño J. (2007).** “respuesta de cuatro variedades de arveja (*pisum sativum* l.) A la fertilización orgánica y química en la granja la pradera”. Ibarra, ecuador: tesis de ingeniero agropecuario.
- ✓ **R.Zaka, C. (2004).** Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth. Science of the total environment.
- ✓ **Robert J. (1998).** Radiaciones ionizantes. En enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Madrid: chantal dufresne.
- ✓ **Terranova, e. (1995).** Fundamentos generales de la arveja. Produccion agricola 1.
- ✓ **Vicente Giaconi M. E. (2004).** Arveja. En cultivo de hortalizas (pág. 119). Santiago de chille: editoria universitaria.
- ✓ **Zea, a. M. (1980).** Radiación ganma a las semillas de arveja. Departamento de publicaciones de la universidad agraria.

ANEXOS

Anexo A

| Comparaciones múltiples | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|-------|-------------------------------|-----------------|
| DG Scheffé | | | | | | |
| (I) TRATAMIENTOS | (J) TRATAMIENTOS | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| 1 | 2 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 3 | -,700 | ,332 | ,920 | -2,16 | ,76 |
| | 4 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 5 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 6 | -,800 | ,332 | ,826 | -2,26 | ,66 |
| | 7 | -1,400 | ,332 | ,074 | -2,86 | ,06 |
| | 8 | -1,700* | ,332 | ,007 | -3,16 | -,24 |
| | 9 | -1,800* | ,332 | ,003 | -3,26 | -,34 |
| | 10 | -1,700* | ,332 | ,007 | -3,16 | -,24 |
| | 11 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| 2 | 1 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| | 3 | -,100 | ,332 | 1,000 | -1,56 | 1,36 |
| | 4 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| | 5 | -,500 | ,332 | ,993 | -1,96 | ,96 |
| | 6 | -,200 | ,332 | 1,000 | -1,66 | 1,26 |
| | 7 | -,800 | ,332 | ,826 | -2,26 | ,66 |
| | 8 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 9 | -1,200 | ,332 | ,237 | -2,66 | ,26 |
| | 10 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 11 | -,500 | ,332 | ,993 | -1,96 | ,96 |
| 3 | 1 | ,700 | ,332 | ,920 | -,76 | 2,16 |
| | 2 | ,100 | ,332 | 1,000 | -1,36 | 1,56 |
| | 4 | ,100 | ,332 | 1,000 | -1,36 | 1,56 |
| | 5 | -,400 | ,332 | ,999 | -1,86 | 1,06 |
| | 6 | -,100 | ,332 | 1,000 | -1,56 | 1,36 |
| | 7 | -,700 | ,332 | ,920 | -2,16 | ,76 |
| | 8 | -1,000 | ,332 | ,529 | -2,46 | ,46 |
| | 9 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 10 | -1,000 | ,332 | ,529 | -2,46 | ,46 |
| | 11 | -,400 | ,332 | ,999 | -1,86 | 1,06 |
| 4 | 1 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| | 2 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| | 3 | -,100 | ,332 | 1,000 | -1,56 | 1,36 |

| | | | | | | |
|---|----|--------|------|-------|-------|------|
| | 5 | -,500 | ,332 | ,993 | -1,96 | ,96 |
| | 6 | -,200 | ,332 | 1,000 | -1,66 | 1,26 |
| | 7 | -,800 | ,332 | ,826 | -2,26 | ,66 |
| | 8 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 9 | -1,200 | ,332 | ,237 | -2,66 | ,26 |
| | 10 | -1,100 | ,332 | ,371 | -2,56 | ,36 |
| | 11 | -,500 | ,332 | ,993 | -1,96 | ,96 |
| 5 | 1 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 2 | ,500 | ,332 | ,993 | -,96 | 1,96 |
| | 3 | ,400 | ,332 | ,999 | -1,06 | 1,86 |
| | 4 | ,500 | ,332 | ,993 | -,96 | 1,96 |
| | 6 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |
| | 7 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| | 8 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 9 | -,700 | ,332 | ,920 | -2,16 | ,76 |
| | 10 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 11 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| 6 | 1 | ,800 | ,332 | ,826 | -,66 | 2,26 |
| | 2 | ,200 | ,332 | 1,000 | -1,26 | 1,66 |
| | 3 | ,100 | ,332 | 1,000 | -1,36 | 1,56 |
| | 4 | ,200 | ,332 | 1,000 | -1,26 | 1,66 |
| | 5 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| | 7 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 8 | -,900 | ,332 | ,689 | -2,36 | ,56 |
| | 9 | -1,000 | ,332 | ,529 | -2,46 | ,46 |
| | 10 | -,900 | ,332 | ,689 | -2,36 | ,56 |
| | 11 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| 7 | 1 | 1,400 | ,332 | ,074 | -,06 | 2,86 |
| | 2 | ,800 | ,332 | ,826 | -,66 | 2,26 |
| | 3 | ,700 | ,332 | ,920 | -,76 | 2,16 |
| | 4 | ,800 | ,332 | ,826 | -,66 | 2,26 |
| | 5 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |
| | 6 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| | 8 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| | 9 | -,400 | ,332 | ,999 | -1,86 | 1,06 |
| | 10 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| | 11 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |
| 8 | 1 | 1,700* | ,332 | ,007 | ,24 | 3,16 |
| | 2 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 3 | 1,000 | ,332 | ,529 | -,46 | 2,46 |
| | 4 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 5 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| | 6 | ,900 | ,332 | ,689 | -,56 | 2,36 |
| | 7 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |

| | | | | | | |
|----|----|--------|------|-------|-------|------|
| | 9 | -,100 | ,332 | 1,000 | -1,56 | 1,36 |
| | 10 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| | 11 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| 9 | 1 | 1,800* | ,332 | ,003 | ,34 | 3,26 |
| | 2 | 1,200 | ,332 | ,237 | -,26 | 2,66 |
| | 3 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 4 | 1,200 | ,332 | ,237 | -,26 | 2,66 |
| | 5 | ,700 | ,332 | ,920 | -,76 | 2,16 |
| | 6 | 1,000 | ,332 | ,529 | -,46 | 2,46 |
| | 7 | ,400 | ,332 | ,999 | -1,06 | 1,86 |
| | 8 | ,100 | ,332 | 1,000 | -1,36 | 1,56 |
| | 10 | ,100 | ,332 | 1,000 | -1,36 | 1,56 |
| | 11 | ,700 | ,332 | ,920 | -,76 | 2,16 |
| 10 | 1 | 1,700* | ,332 | ,007 | ,24 | 3,16 |
| | 2 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 3 | 1,000 | ,332 | ,529 | -,46 | 2,46 |
| | 4 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 5 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| | 6 | ,900 | ,332 | ,689 | -,56 | 2,36 |
| | 7 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |
| | 8 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| | 9 | -,100 | ,332 | 1,000 | -1,56 | 1,36 |
| | 11 | ,600 | ,332 | ,972 | -,86 | 2,06 |
| 11 | 1 | 1,100 | ,332 | ,371 | -,36 | 2,56 |
| | 2 | ,500 | ,332 | ,993 | -,96 | 1,96 |
| | 3 | ,400 | ,332 | ,999 | -1,06 | 1,86 |
| | 4 | ,500 | ,332 | ,993 | -,96 | 1,96 |
| | 5 | ,000 | ,332 | 1,000 | -1,46 | 1,46 |
| | 6 | ,300 | ,332 | 1,000 | -1,16 | 1,76 |
| | 7 | -,300 | ,332 | 1,000 | -1,76 | 1,16 |
| | 8 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |
| | 9 | -,700 | ,332 | ,920 | -2,16 | ,76 |
| | 10 | -,600 | ,332 | ,972 | -2,06 | ,86 |

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo B

| Comparaciones múltiples | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------|-------|----------------------------------|--------------------|
| G T P (mm) Scheffé | | | | | | |
| (I) TRATAMIENTOS | (J) TRATAMIENTOS | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| 1 | 2 | ,700 | ,342 | ,935 | -,80 | 2,20 |
| | 3 | 2,800* | ,342 | ,000 | 1,30 | 4,30 |
| | 4 | 4,400* | ,342 | ,000 | 2,90 | 5,90 |
| | 5 | 4,700* | ,342 | ,000 | 3,20 | 6,20 |
| | 6 | 4,700* | ,342 | ,000 | 3,20 | 6,20 |
| | 7 | 4,700* | ,342 | ,000 | 3,20 | 6,20 |
| | 8 | 4,900* | ,342 | ,000 | 3,40 | 6,40 |
| | 9 | 5,100* | ,342 | ,000 | 3,60 | 6,60 |
| | 10 | 5,900* | ,342 | ,000 | 4,40 | 7,40 |
| | 11 | 3,300* | ,342 | ,000 | 1,80 | 4,80 |
| 2 | 1 | -,700 | ,342 | ,935 | -2,20 | ,80 |
| | 3 | 2,100* | ,342 | ,000 | ,60 | 3,60 |
| | 4 | 3,700* | ,342 | ,000 | 2,20 | 5,20 |
| | 5 | 4,000* | ,342 | ,000 | 2,50 | 5,50 |
| | 6 | 4,000* | ,342 | ,000 | 2,50 | 5,50 |
| | 7 | 4,000* | ,342 | ,000 | 2,50 | 5,50 |
| | 8 | 4,200* | ,342 | ,000 | 2,70 | 5,70 |
| | 9 | 4,400* | ,342 | ,000 | 2,90 | 5,90 |
| | 10 | 5,200* | ,342 | ,000 | 3,70 | 6,70 |
| | 11 | 2,600* | ,342 | ,000 | 1,10 | 4,10 |
| 3 | 1 | -2,800* | ,342 | ,000 | -4,30 | -1,30 |
| | 2 | -2,100* | ,342 | ,000 | -3,60 | -,60 |
| | 4 | 1,600* | ,342 | ,025 | ,10 | 3,10 |
| | 5 | 1,900* | ,342 | ,002 | ,40 | 3,40 |
| | 6 | 1,900* | ,342 | ,002 | ,40 | 3,40 |
| | 7 | 1,900* | ,342 | ,002 | ,40 | 3,40 |
| | 8 | 2,100* | ,342 | ,000 | ,60 | 3,60 |
| | 9 | 2,300* | ,342 | ,000 | ,80 | 3,80 |
| | 10 | 3,100* | ,342 | ,000 | 1,60 | 4,60 |
| | 11 | ,500 | ,342 | ,995 | -1,00 | 2,00 |
| 4 | 1 | -4,400* | ,342 | ,000 | -5,90 | -2,90 |
| | 2 | -3,700* | ,342 | ,000 | -5,20 | -2,20 |
| | 3 | -1,600* | ,342 | ,025 | -3,10 | -,10 |
| | 5 | ,300 | ,342 | 1,000 | -1,20 | 1,80 |
| | 6 | ,300 | ,342 | 1,000 | -1,20 | 1,80 |
| | 7 | ,300 | ,342 | 1,000 | -1,20 | 1,80 |

| | | | | | | |
|---|----|---------|------|-------|-------|-------|
| | 8 | ,500 | ,342 | ,995 | -1,00 | 2,00 |
| | 9 | ,700 | ,342 | ,935 | -,80 | 2,20 |
| | 10 | 1,500 | ,342 | ,051 | ,00 | 3,00 |
| | 11 | -1,100 | ,342 | ,422 | -2,60 | ,40 |
| 5 | 1 | -4,700* | ,342 | ,000 | -6,20 | -3,20 |
| | 2 | -4,000* | ,342 | ,000 | -5,50 | -2,50 |
| | 3 | -1,900* | ,342 | ,002 | -3,40 | -,40 |
| | 4 | -,300 | ,342 | 1,000 | -1,80 | 1,20 |
| | 6 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 7 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 8 | ,200 | ,342 | 1,000 | -1,30 | 1,70 |
| | 9 | ,400 | ,342 | ,999 | -1,10 | 1,90 |
| | 10 | 1,200 | ,342 | ,282 | -,30 | 2,70 |
| | 11 | -1,400 | ,342 | ,098 | -2,90 | ,10 |
| 6 | 1 | -4,700* | ,342 | ,000 | -6,20 | -3,20 |
| | 2 | -4,000* | ,342 | ,000 | -5,50 | -2,50 |
| | 3 | -1,900* | ,342 | ,002 | -3,40 | -,40 |
| | 4 | -,300 | ,342 | 1,000 | -1,80 | 1,20 |
| | 5 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 7 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 8 | ,200 | ,342 | 1,000 | -1,30 | 1,70 |
| | 9 | ,400 | ,342 | ,999 | -1,10 | 1,90 |
| | 10 | 1,200 | ,342 | ,282 | -,30 | 2,70 |
| | 11 | -1,400 | ,342 | ,098 | -2,90 | ,10 |
| 7 | 1 | -4,700* | ,342 | ,000 | -6,20 | -3,20 |
| | 2 | -4,000* | ,342 | ,000 | -5,50 | -2,50 |
| | 3 | -1,900* | ,342 | ,002 | -3,40 | -,40 |
| | 4 | -,300 | ,342 | 1,000 | -1,80 | 1,20 |
| | 5 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 6 | ,000 | ,342 | 1,000 | -1,50 | 1,50 |
| | 8 | ,200 | ,342 | 1,000 | -1,30 | 1,70 |
| | 9 | ,400 | ,342 | ,999 | -1,10 | 1,90 |
| | 10 | 1,200 | ,342 | ,282 | -,30 | 2,70 |
| | 11 | -1,400 | ,342 | ,098 | -2,90 | ,10 |
| 8 | 1 | -4,900* | ,342 | ,000 | -6,40 | -3,40 |
| | 2 | -4,200* | ,342 | ,000 | -5,70 | -2,70 |
| | 3 | -2,100* | ,342 | ,000 | -3,60 | -,60 |
| | 4 | -,500 | ,342 | ,995 | -2,00 | 1,00 |
| | 5 | -,200 | ,342 | 1,000 | -1,70 | 1,30 |
| | 6 | -,200 | ,342 | 1,000 | -1,70 | 1,30 |
| | 7 | -,200 | ,342 | 1,000 | -1,70 | 1,30 |
| | 9 | ,200 | ,342 | 1,000 | -1,30 | 1,70 |
| | 10 | 1,000 | ,342 | ,579 | -,50 | 2,50 |

| | | | | | | |
|----|----|---------|------|-------|-------|-------|
| | 11 | -1,600* | ,342 | ,025 | -3,10 | -,10 |
| 9 | 1 | -5,100* | ,342 | ,000 | -6,60 | -3,60 |
| | 2 | -4,400* | ,342 | ,000 | -5,90 | -2,90 |
| | 3 | -2,300* | ,342 | ,000 | -3,80 | -,80 |
| | 4 | -,700 | ,342 | ,935 | -2,20 | ,80 |
| | 5 | -,400 | ,342 | ,999 | -1,90 | 1,10 |
| | 6 | -,400 | ,342 | ,999 | -1,90 | 1,10 |
| | 7 | -,400 | ,342 | ,999 | -1,90 | 1,10 |
| | 8 | -,200 | ,342 | 1,000 | -1,70 | 1,30 |
| | 10 | ,800 | ,342 | ,853 | -,70 | 2,30 |
| | 11 | -1,800* | ,342 | ,005 | -3,30 | -,30 |
| 10 | 1 | -5,900* | ,342 | ,000 | -7,40 | -4,40 |
| | 2 | -5,200* | ,342 | ,000 | -6,70 | -3,70 |
| | 3 | -3,100* | ,342 | ,000 | -4,60 | -1,60 |
| | 4 | -1,500 | ,342 | ,051 | -3,00 | ,00 |
| | 5 | -1,200 | ,342 | ,282 | -2,70 | ,30 |
| | 6 | -1,200 | ,342 | ,282 | -2,70 | ,30 |
| | 7 | -1,200 | ,342 | ,282 | -2,70 | ,30 |
| | 8 | -1,000 | ,342 | ,579 | -2,50 | ,50 |
| | 9 | -,800 | ,342 | ,853 | -2,30 | ,70 |
| | 11 | -2,600* | ,342 | ,000 | -4,10 | -1,10 |
| 11 | 1 | -3,300* | ,342 | ,000 | -4,80 | -1,80 |
| | 2 | -2,600* | ,342 | ,000 | -4,10 | -1,10 |
| | 3 | -,500 | ,342 | ,995 | -2,00 | 1,00 |
| | 4 | 1,100 | ,342 | ,422 | -,40 | 2,60 |
| | 5 | 1,400 | ,342 | ,098 | -,10 | 2,90 |
| | 6 | 1,400 | ,342 | ,098 | -,10 | 2,90 |
| | 7 | 1,400 | ,342 | ,098 | -,10 | 2,90 |
| | 8 | 1,600* | ,342 | ,025 | ,10 | 3,10 |
| | 9 | 1,800* | ,342 | ,005 | ,30 | 3,30 |
| | 10 | 2,600* | ,342 | ,000 | 1,10 | 4,10 |

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo C

| Comparaciones múltiples | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|-------|-------------------------------|-----------------|
| N R Scheffé | | | | | | |
| (I) TRATAMIENTOS | (J) TRATAMIENTOS | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| 1 | 2 | 1,500* | ,322 | ,026 | ,09 | 2,91 |
| | 3 | 2,300* | ,322 | ,000 | ,89 | 3,71 |
| | 4 | 2,700* | ,322 | ,000 | 1,29 | 4,11 |
| | 5 | 2,700* | ,322 | ,000 | 1,29 | 4,11 |
| | 6 | 2,800* | ,322 | ,000 | 1,39 | 4,21 |
| | 7 | 3,100* | ,322 | ,000 | 1,69 | 4,51 |
| | 8 | 3,600* | ,322 | ,000 | 2,19 | 5,01 |
| | 9 | 4,100* | ,322 | ,000 | 2,69 | 5,51 |
| | 10 | 4,200* | ,322 | ,000 | 2,79 | 5,61 |
| | 11 | 2,000* | ,322 | ,000 | ,59 | 3,41 |
| 2 | 1 | -1,500* | ,322 | ,026 | -2,91 | -,09 |
| | 3 | ,800 | ,322 | ,796 | -,61 | 2,21 |
| | 4 | 1,200 | ,322 | ,196 | -,21 | 2,61 |
| | 5 | 1,200 | ,322 | ,196 | -,21 | 2,61 |
| | 6 | 1,300 | ,322 | ,109 | -,11 | 2,71 |
| | 7 | 1,600* | ,322 | ,011 | ,19 | 3,01 |
| | 8 | 2,100* | ,322 | ,000 | ,69 | 3,51 |
| | 9 | 2,600* | ,322 | ,000 | 1,19 | 4,01 |
| | 10 | 2,700* | ,322 | ,000 | 1,29 | 4,11 |
| | 11 | ,500 | ,322 | ,991 | -,91 | 1,91 |
| 3 | 1 | -2,300* | ,322 | ,000 | -3,71 | -,89 |
| | 2 | -,800 | ,322 | ,796 | -2,21 | ,61 |
| | 4 | ,400 | ,322 | ,999 | -1,01 | 1,81 |
| | 5 | ,400 | ,322 | ,999 | -1,01 | 1,81 |
| | 6 | ,500 | ,322 | ,991 | -,91 | 1,91 |
| | 7 | ,800 | ,322 | ,796 | -,61 | 2,21 |
| | 8 | 1,300 | ,322 | ,109 | -,11 | 2,71 |
| | 9 | 1,800* | ,322 | ,002 | ,39 | 3,21 |
| | 10 | 1,900* | ,322 | ,001 | ,49 | 3,31 |
| | 11 | -,300 | ,322 | 1,000 | -1,71 | 1,11 |
| 4 | 1 | -2,700* | ,322 | ,000 | -4,11 | -1,29 |
| | 2 | -1,200 | ,322 | ,196 | -2,61 | ,21 |
| | 3 | -,400 | ,322 | ,999 | -1,81 | 1,01 |
| | 5 | ,000 | ,322 | 1,000 | -1,41 | 1,41 |
| | 6 | ,100 | ,322 | 1,000 | -1,31 | 1,51 |

| | | | | | | |
|---|----|----------|------|-------|-------|-------|
| | 7 | ,400 | ,322 | ,999 | -1,01 | 1,81 |
| | 8 | ,900 | ,322 | ,646 | -,51 | 2,31 |
| | 9 | 1,400 | ,322 | ,055 | -,01 | 2,81 |
| | 10 | 1,500 * | ,322 | ,026 | ,09 | 2,91 |
| | 11 | -,700 | ,322 | ,904 | -2,11 | ,71 |
| 5 | 1 | -2,700 * | ,322 | ,000 | -4,11 | -1,29 |
| | 2 | -1,200 | ,322 | ,196 | -2,61 | ,21 |
| | 3 | -,400 | ,322 | ,999 | -1,81 | 1,01 |
| | 4 | ,000 | ,322 | 1,000 | -1,41 | 1,41 |
| | 6 | ,100 | ,322 | 1,000 | -1,31 | 1,51 |
| | 7 | ,400 | ,322 | ,999 | -1,01 | 1,81 |
| | 8 | ,900 | ,322 | ,646 | -,51 | 2,31 |
| | 9 | 1,400 | ,322 | ,055 | -,01 | 2,81 |
| | 10 | 1,500 * | ,322 | ,026 | ,09 | 2,91 |
| | 11 | -,700 | ,322 | ,904 | -2,11 | ,71 |
| 6 | 1 | -2,800 * | ,322 | ,000 | -4,21 | -1,39 |
| | 2 | -1,300 | ,322 | ,109 | -2,71 | ,11 |
| | 3 | -,500 | ,322 | ,991 | -1,91 | ,91 |
| | 4 | -,100 | ,322 | 1,000 | -1,51 | 1,31 |
| | 5 | -,100 | ,322 | 1,000 | -1,51 | 1,31 |
| | 7 | ,300 | ,322 | 1,000 | -1,11 | 1,71 |
| | 8 | ,800 | ,322 | ,796 | -,61 | 2,21 |
| | 9 | 1,300 | ,322 | ,109 | -,11 | 2,71 |
| | 10 | 1,400 | ,322 | ,055 | -,01 | 2,81 |
| | 11 | -,800 | ,322 | ,796 | -2,21 | ,61 |
| 7 | 1 | -3,100 * | ,322 | ,000 | -4,51 | -1,69 |
| | 2 | -1,600 * | ,322 | ,011 | -3,01 | -,19 |
| | 3 | -,800 | ,322 | ,796 | -2,21 | ,61 |
| | 4 | -,400 | ,322 | ,999 | -1,81 | 1,01 |
| | 5 | -,400 | ,322 | ,999 | -1,81 | 1,01 |
| | 6 | -,300 | ,322 | 1,000 | -1,71 | 1,11 |
| | 8 | ,500 | ,322 | ,991 | -,91 | 1,91 |
| | 9 | 1,000 | ,322 | ,479 | -,41 | 2,41 |
| | 10 | 1,100 | ,322 | ,322 | -,31 | 2,51 |
| | 11 | -1,100 | ,322 | ,322 | -2,51 | ,31 |
| 8 | 1 | -3,600 * | ,322 | ,000 | -5,01 | -2,19 |
| | 2 | -2,100 * | ,322 | ,000 | -3,51 | -,69 |
| | 3 | -1,300 | ,322 | ,109 | -2,71 | ,11 |
| | 4 | -,900 | ,322 | ,646 | -2,31 | ,51 |
| | 5 | -,900 | ,322 | ,646 | -2,31 | ,51 |
| | 6 | -,800 | ,322 | ,796 | -2,21 | ,61 |
| | 7 | -,500 | ,322 | ,991 | -1,91 | ,91 |
| | 9 | ,500 | ,322 | ,991 | -,91 | 1,91 |
| | 10 | ,600 | ,322 | ,965 | -,81 | 2,01 |

| | | | | | | |
|----|----|----------|------|-------|-------|-------|
| | 11 | -1,600 * | ,322 | ,011 | -3,01 | -,19 |
| 9 | 1 | -4,100 * | ,322 | ,000 | -5,51 | -2,69 |
| | 2 | -2,600 * | ,322 | ,000 | -4,01 | -1,19 |
| | 3 | -1,800 * | ,322 | ,002 | -3,21 | -,39 |
| | 4 | -1,400 | ,322 | ,055 | -2,81 | ,01 |
| | 5 | -1,400 | ,322 | ,055 | -2,81 | ,01 |
| | 6 | -1,300 | ,322 | ,109 | -2,71 | ,11 |
| | 7 | -1,000 | ,322 | ,479 | -2,41 | ,41 |
| | 8 | -,500 | ,322 | ,991 | -1,91 | ,91 |
| | 10 | ,100 | ,322 | 1,000 | -1,31 | 1,51 |
| | 11 | -2,100 * | ,322 | ,000 | -3,51 | -,69 |
| 10 | 1 | -4,200 * | ,322 | ,000 | -5,61 | -2,79 |
| | 2 | -2,700 * | ,322 | ,000 | -4,11 | -1,29 |
| | 3 | -1,900 * | ,322 | ,001 | -3,31 | -,49 |
| | 4 | -1,500 * | ,322 | ,026 | -2,91 | -,09 |
| | 5 | -1,500 * | ,322 | ,026 | -2,91 | -,09 |
| | 6 | -1,400 | ,322 | ,055 | -2,81 | ,01 |
| | 7 | -1,100 | ,322 | ,322 | -2,51 | ,31 |
| | 8 | -,600 | ,322 | ,965 | -2,01 | ,81 |
| | 9 | -,100 | ,322 | 1,000 | -1,51 | 1,31 |
| | 11 | -2,200 * | ,322 | ,000 | -3,61 | -,79 |
| 11 | 1 | -2,000 * | ,322 | ,000 | -3,41 | -,59 |
| | 2 | -,500 | ,322 | ,991 | -1,91 | ,91 |
| | 3 | ,300 | ,322 | 1,000 | -1,11 | 1,71 |
| | 4 | ,700 | ,322 | ,904 | -,71 | 2,11 |
| | 5 | ,700 | ,322 | ,904 | -,71 | 2,11 |
| | 6 | ,800 | ,322 | ,796 | -,61 | 2,21 |
| | 7 | 1,100 | ,322 | ,322 | -,31 | 2,51 |
| | 8 | 1,600 * | ,322 | ,011 | ,19 | 3,01 |
| | 9 | 2,100 * | ,322 | ,000 | ,69 | 3,51 |
| | 10 | 2,200 * | ,322 | ,000 | ,79 | 3,61 |

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo D

| Comparaciones múltiples | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|------|-------------------------------|-----------------|
| TP (cm) Scheffé | | | | | | |
| (I) TRATAMIENTOS | (J) TRATAMIENTOS | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| 1 | 2 | 12,600 [*] | 1,255 | ,000 | 7,09 | 18,11 |
| | 3 | 32,400 [*] | 1,255 | ,000 | 26,89 | 37,91 |
| | 4 | 43,900 [*] | 1,255 | ,000 | 38,39 | 49,41 |
| | 5 | 54,300 [*] | 1,255 | ,000 | 48,79 | 59,81 |
| | 6 | 61,800 [*] | 1,255 | ,000 | 56,29 | 67,31 |
| | 7 | 64,400 [*] | 1,255 | ,000 | 58,89 | 69,91 |
| | 8 | 70,500 [*] | 1,255 | ,000 | 64,99 | 76,01 |
| | 9 | 77,900 [*] | 1,255 | ,000 | 72,39 | 83,41 |
| | 10 | 82,100 [*] | 1,255 | ,000 | 76,59 | 87,61 |
| | 11 | 44,100 [*] | 1,255 | ,000 | 38,59 | 49,61 |
| 2 | 1 | -12,600 [*] | 1,255 | ,000 | -18,11 | -7,09 |
| | 3 | 19,800 [*] | 1,255 | ,000 | 14,29 | 25,31 |
| | 4 | 31,300 [*] | 1,255 | ,000 | 25,79 | 36,81 |
| | 5 | 41,700 [*] | 1,255 | ,000 | 36,19 | 47,21 |
| | 6 | 49,200 [*] | 1,255 | ,000 | 43,69 | 54,71 |
| | 7 | 51,800 [*] | 1,255 | ,000 | 46,29 | 57,31 |
| | 8 | 57,900 [*] | 1,255 | ,000 | 52,39 | 63,41 |
| | 9 | 65,300 [*] | 1,255 | ,000 | 59,79 | 70,81 |
| | 10 | 69,500 [*] | 1,255 | ,000 | 63,99 | 75,01 |
| | 11 | 31,500 [*] | 1,255 | ,000 | 25,99 | 37,01 |
| 3 | 1 | -32,400 [*] | 1,255 | ,000 | -37,91 | -26,89 |
| | 2 | -19,800 [*] | 1,255 | ,000 | -25,31 | -14,29 |
| | 4 | 11,500 [*] | 1,255 | ,000 | 5,99 | 17,01 |
| | 5 | 21,900 [*] | 1,255 | ,000 | 16,39 | 27,41 |
| | 6 | 29,400 [*] | 1,255 | ,000 | 23,89 | 34,91 |
| | 7 | 32,000 [*] | 1,255 | ,000 | 26,49 | 37,51 |
| | 8 | 38,100 [*] | 1,255 | ,000 | 32,59 | 43,61 |
| | 9 | 45,500 [*] | 1,255 | ,000 | 39,99 | 51,01 |
| | 10 | 49,700 [*] | 1,255 | ,000 | 44,19 | 55,21 |
| | 11 | 11,700 [*] | 1,255 | ,000 | 6,19 | 17,21 |
| 4 | 1 | -43,900 [*] | 1,255 | ,000 | -49,41 | -38,39 |
| | 2 | -31,300 [*] | 1,255 | ,000 | -36,81 | -25,79 |
| | 3 | -11,500 [*] | 1,255 | ,000 | -17,01 | -5,99 |
| | 5 | 10,400 [*] | 1,255 | ,000 | 4,89 | 15,91 |
| | 6 | 17,900 [*] | 1,255 | ,000 | 12,39 | 23,41 |
| | 7 | 20,500 [*] | 1,255 | ,000 | 14,99 | 26,01 |

| | | | | | | |
|---|----|----------|-------|-------|--------|--------|
| | 8 | 26,600* | 1,255 | ,000 | 21,09 | 32,11 |
| | 9 | 34,000* | 1,255 | ,000 | 28,49 | 39,51 |
| | 10 | 38,200* | 1,255 | ,000 | 32,69 | 43,71 |
| | 11 | ,200 | 1,255 | 1,000 | -5,31 | 5,71 |
| 5 | 1 | -54,300* | 1,255 | ,000 | -59,81 | -48,79 |
| | 2 | -41,700* | 1,255 | ,000 | -47,21 | -36,19 |
| | 3 | -21,900* | 1,255 | ,000 | -27,41 | -16,39 |
| | 4 | -10,400* | 1,255 | ,000 | -15,91 | -4,89 |
| | 6 | 7,500* | 1,255 | ,000 | 1,99 | 13,01 |
| | 7 | 10,100* | 1,255 | ,000 | 4,59 | 15,61 |
| | 8 | 16,200* | 1,255 | ,000 | 10,69 | 21,71 |
| | 9 | 23,600* | 1,255 | ,000 | 18,09 | 29,11 |
| | 10 | 27,800* | 1,255 | ,000 | 22,29 | 33,31 |
| | 11 | -10,200* | 1,255 | ,000 | -15,71 | -4,69 |
| 6 | 1 | -61,800* | 1,255 | ,000 | -67,31 | -56,29 |
| | 2 | -49,200* | 1,255 | ,000 | -54,71 | -43,69 |
| | 3 | -29,400* | 1,255 | ,000 | -34,91 | -23,89 |
| | 4 | -17,900* | 1,255 | ,000 | -23,41 | -12,39 |
| | 5 | -7,500* | 1,255 | ,000 | -13,01 | -1,99 |
| | 7 | 2,600 | 1,255 | ,929 | -2,91 | 8,11 |
| | 8 | 8,700* | 1,255 | ,000 | 3,19 | 14,21 |
| | 9 | 16,100* | 1,255 | ,000 | 10,59 | 21,61 |
| | 10 | 20,300* | 1,255 | ,000 | 14,79 | 25,81 |
| | 11 | -17,700* | 1,255 | ,000 | -23,21 | -12,19 |
| 7 | 1 | -64,400* | 1,255 | ,000 | -69,91 | -58,89 |
| | 2 | -51,800* | 1,255 | ,000 | -57,31 | -46,29 |
| | 3 | -32,000* | 1,255 | ,000 | -37,51 | -26,49 |
| | 4 | -20,500* | 1,255 | ,000 | -26,01 | -14,99 |
| | 5 | -10,100* | 1,255 | ,000 | -15,61 | -4,59 |
| | 6 | -2,600 | 1,255 | ,929 | -8,11 | 2,91 |
| | 8 | 6,100* | 1,255 | ,015 | ,59 | 11,61 |
| | 9 | 13,500* | 1,255 | ,000 | 7,99 | 19,01 |
| | 10 | 17,700* | 1,255 | ,000 | 12,19 | 23,21 |
| | 11 | -20,300* | 1,255 | ,000 | -25,81 | -14,79 |
| 8 | 1 | -70,500* | 1,255 | ,000 | -76,01 | -64,99 |
| | 2 | -57,900* | 1,255 | ,000 | -63,41 | -52,39 |
| | 3 | -38,100* | 1,255 | ,000 | -43,61 | -32,59 |
| | 4 | -26,600* | 1,255 | ,000 | -32,11 | -21,09 |
| | 5 | -16,200* | 1,255 | ,000 | -21,71 | -10,69 |
| | 6 | -8,700* | 1,255 | ,000 | -14,21 | -3,19 |
| | 7 | -6,100* | 1,255 | ,015 | -11,61 | -,59 |
| | 9 | 7,400* | 1,255 | ,001 | 1,89 | 12,91 |
| | 10 | 11,600* | 1,255 | ,000 | 6,09 | 17,11 |

| | | | | | | |
|----|----|----------|-------|-------|--------|--------|
| | 11 | -26,400* | 1,255 | ,000 | -31,91 | -20,89 |
| 9 | 1 | -77,900* | 1,255 | ,000 | -83,41 | -72,39 |
| | 2 | -65,300* | 1,255 | ,000 | -70,81 | -59,79 |
| | 3 | -45,500* | 1,255 | ,000 | -51,01 | -39,99 |
| | 4 | -34,000* | 1,255 | ,000 | -39,51 | -28,49 |
| | 5 | -23,600* | 1,255 | ,000 | -29,11 | -18,09 |
| | 6 | -16,100* | 1,255 | ,000 | -21,61 | -10,59 |
| | 7 | -13,500* | 1,255 | ,000 | -19,01 | -7,99 |
| | 8 | -7,400* | 1,255 | ,001 | -12,91 | -1,89 |
| | 10 | 4,200 | 1,255 | ,355 | -1,31 | 9,71 |
| | 11 | -33,800* | 1,255 | ,000 | -39,31 | -28,29 |
| 10 | 1 | -82,100* | 1,255 | ,000 | -87,61 | -76,59 |
| | 2 | -69,500* | 1,255 | ,000 | -75,01 | -63,99 |
| | 3 | -49,700* | 1,255 | ,000 | -55,21 | -44,19 |
| | 4 | -38,200* | 1,255 | ,000 | -43,71 | -32,69 |
| | 5 | -27,800* | 1,255 | ,000 | -33,31 | -22,29 |
| | 6 | -20,300* | 1,255 | ,000 | -25,81 | -14,79 |
| | 7 | -17,700* | 1,255 | ,000 | -23,21 | -12,19 |
| | 8 | -11,600* | 1,255 | ,000 | -17,11 | -6,09 |
| | 9 | -4,200 | 1,255 | ,355 | -9,71 | 1,31 |
| | 11 | -38,000* | 1,255 | ,000 | -43,51 | -32,49 |
| 11 | 1 | -44,100* | 1,255 | ,000 | -49,61 | -38,59 |
| | 2 | -31,500* | 1,255 | ,000 | -37,01 | -25,99 |
| | 3 | -11,700* | 1,255 | ,000 | -17,21 | -6,19 |
| | 4 | -,200 | 1,255 | 1,000 | -5,71 | 5,31 |
| | 5 | 10,200* | 1,255 | ,000 | 4,69 | 15,71 |
| | 6 | 17,700* | 1,255 | ,000 | 12,19 | 23,21 |
| | 7 | 20,300* | 1,255 | ,000 | 14,79 | 25,81 |
| | 8 | 26,400* | 1,255 | ,000 | 20,89 | 31,91 |
| | 9 | 33,800* | 1,255 | ,000 | 28,29 | 39,31 |
| | 10 | 38,000* | 1,255 | ,000 | 32,49 | 43,51 |

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo E
Muestras antes de la siembra



Anexo F
Señalización de las parcelas



Anexo G
Crecimiento de la planta de arveja

